



**Aalto-yliopisto
Teknillinen korkeakoulu**

**Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta
Rakennus- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma**

Outi Persson

**MAATUTKAN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET
VANHOJEN RAKENNUSTEN KUNTOTARKASTUKSESSA
JA KORJAUSRAKENTAMISESSA**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 17. kesäkuuta 2010.

Valvoja: professori Jussi Leveinen
Ohjaaja: TkL Tero Hokkanen

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty geoympäristötekniikan osastolle. Työn ohjaajana on toiminut TkL Tero Hokkanen ja valvojana professori Jussi Leveinen.

Kiitän Jussi Leveistä diplomityön aiheen nopeasta antamisesta ja mahdollisuudesta kirjoittaa työtä ympäri maailmaa. Haluan myös kiittää Tero Hokkasta saamastani avusta työn kokoamisessa ja materiaalien hankinnassa sekä kärsivällisestä pilkkuvirheiden korjaamisesta.

Työn kirjoitus on ollut tuskien taival alusta loppuun. Elämässäni on tapahtunut niin paljon tämän työn kirjoittamisen aikana, että en olisi uskonut tästä kaikesta selviäväni kunnialla. Olemme matkustaneen ympäri maailmaa idässä ja lännessä. Elämäämme kohtasi myös suuri menetys kesken työn tekemisen, kun rakas Mummamme poistui keskuudestamme pitkän taistelun jälkeen. Lähimmäisteni tuella olen kuitenkin taistellut tämän työn loppuun ja ehdin kuin ehdinkin valmistua ennen määräaikaa!

Haluan kiittää vanhempiani Mirjaa ja Ilaria kaikesta tuesta ja avusta jota olen saanut opiskeluaikanani, ja erityisesti lastenhoitoavusta diplomityön loppuvaiheessa. Ilman teitä ei tätä työtä olisi koskaan saatu kasaan!

Kiitän myös tyttäriäni Auroraa ja Oliviaa päivieni piristämisestä. Teidän ansiosta elämässäni on ollut koko ajan myös muuta sisältöä kuin tämä työ☺

Och sist vill jag tacka min älskade man Roger. Utan dig skulle jag kanske aldrig ha klarat skolan. Tack för all stöd jag har fått från dig. Och tack att du har tagit hand om vårt hem och flickorna när jag har varit upptagen med skolan. Nu kan vi äntligen börja njuta av lediga kvällar och helger☺ Älskar dig!

Hyvinkäällä 1.6.2010



Outi Persson

Tekijä:	Outi Persson		
Diplomityö:	Maatutkan hyödyntämismahdollisuudet vanhojen rakennusten kuntotarkastuksessa ja korjausrakentamisessa		
Päivämäärä:	30.5.2010	Sivumäärä:	79
Professuuri:	Teknillinen geologia	Koodi:	Yhd-33
Valvoja:	Professori Jussi Leveinen		
Ohjaaja:	TkL Tero Hokkanen		
Avainsanat:	Maatutka, GPR, betonitutka, perustukset, pohjarakenteet, salaojat, kuntotarkastus, korjausrakentaminen, vanhat rakennukset		
<p>Maatutka on geofysikaalinen laite, jota käytetään maankamaran rakenteiden tutkimiseen. Tämä sähkömagnetismiin perustuva ainetta rikkomaton laite toimii mikroaaltotaajuuksilla. Sillä voidaan mm. kartoittaa eri maaperätyyppejä, paikantaa kallion, pohjaveden ja eri maaperätyyppien rajapintoja, samoin kuin tutkia kallion ja betonin laatua ja rakoilua. Sovelluskohteita on nykyään paljon.</p> <p>Mittauksissa käytettävät taajuudet vaihtelevat tutkimuskohteen mukaan, mutta normaalisti ne vaihtelevat välillä 10-2000 MHz ja betonitutkalla käytetään tätäkin korkeampia taajuuksia. Maatutkamittauksissa hyödynnetään kaukokenttää, joka etenee aineessa tasoaaltona. Osa aaltoenergiasta heijastuu sähköisiltä rajapinnoilta, osa lävistää rajapinnan ja heijastuu seuraavilta rajapinnoilta.</p> <p>Vanhojen rakennusten kuntotarkastuksessa ja korjausrakentamisessa on käytössä monia mittausvälineitä. Kuntotarkastukset tehdään aistinvaraisesti ja materiaaleja rikkomatta. Maatutkaa voitaisiin hyödyntää alapohjarakenteiden ja perustusten tarkastelussa. Maatutkan avulla pystytään paikallistamaan maahan kaivetut salaoja- ja sadevesijärjestelmät.</p> <p>Betonitutkalla voidaan tehdä betonin laatututkimuksia, betonin kosteusmittauksia, betoniraudoitustutkimuksia sekä paikantamaan onkaloita ja rakoja betonirakenteista. Betoniraudoitteet ja muut metalliset esineet tulevat erityisen selvästi esiin tutkakuvassa, koska ne ovat johteita ja heijastavat tehokkaasti tutkasignaalit vastaanottimeen. Betonitutkalla voidaan myös paikantaa putket ja johdot betonin sisällä ja ne voidaan merkitä ennen korjausrakentamisen aloittamista.</p>			

Author:	Outi Persson		
Thesis:	The use of Ground-Penetrating radar in condition inspection of old houses and in renovation		
Date:	May 30 th 2010	Number of pages:	79
Professorship:	Technical geology	Code:	Yhd-33
Supervisor:	Professor Jussi Leveinen		
Instructor:	Tero Hokkanen (Lic. Tech.)		
Key Words:	Ground-penetrating radar, GPR, foundation, underdrain, condition inspection, renovation, ground-probing radar, georadar, sub-surface radar, surface-penetrating radar (SPR), concrete radar		

Ground penetrating radar (GPR) is a geophysical device being used for surveying the subsurface. This non-destructive device uses electromagnetic (EM) radiation in the microwave band. GPR can be used in surveying soil, for detecting the surface of bedrock, ground water table and soil layers as well as to investigate the quality and the fracturing of bedrock and concrete.

The operating frequency depends on the material under the survey. Typical frequency band of geophysical surveys is from 10 MHz to 2 GHz, but frequencies can be higher in radars designed for concrete investigations. The EM-field radiated by GPR is a far field, which means that the wave energy penetrates in the subsurface as a plane wave. Some portion of the signal energy reflects back from the electrical interface and the rest of energy penetrates through the interface.

While doing condition inspection and renovating of old houses a variety of measuring instruments are used. General condition of the buildings is inspected by using only senses and non destructive methods. GPR could be used for surveying foundations. It could also be used for locating underdrain.

Concrete radar can be used for the quality check of concrete, and defining its moisture content, detection reinforcement steel bars and voids in concrete structures. Reinforcing steel and other metal structures can easily be detected because they reflect strongly the signals back to the receiver. Pipes and wires can also be detected inside concrete structures by using concrete radar.

1	Johdanto	7
2	Maatutka.....	8
2.1	Yleistä	8
2.2	Maatutkan toimintaperiaate.....	10
2.2.1	Yleisesti.....	10
2.2.2	Dielektrisyys	12
2.2.3	Sähkönjohtokyky	13
2.2.4	Maatutkan toiminnan perusytälöt.....	13
2.2.5	Signaalin vaimeneminen	16
2.3	Maatutkan käytön historiaa.....	17
2.3.1	Historia vuosikymmenittäin	17
	1900 - 1950	17
	1950 - luku	17
	1960 - luku	17
	1970 - luku	18
	1980 - luku	20
	1990 - luku	21
	2000 – luku.....	23
2.3.2	Maatutkan käytön historia Suomessa.....	23
2.3.3	Maatutkien sukupolvet	23
2.4	Maatutkan käyttökohteista	23
2.5	Maatutkatutkimuksen suunnittelu, suoritus ja mittauksen jälkeiset työt	24
2.5.1	Suunnittelu	24
2.5.2	Mittauksen suorittaminen.....	25
2.5.3	Mittauksen jälkeiset työt	26
2.6	Maatutkan nykyinen käyttö ja tulevaisuus.....	31
2.6.1	Yleistä	31
2.6.2	Nykyiset käyttösovellukset maailmalla.....	31
2.7	Maatutkamittausten ongelmat	32
2.8	Suomalainen ja kansainvälinen järjestötoiminta	33
2.9	Maatutkamittauksia Suomessa	34
2.10	Betonitutka	34
3	Korjausrakentaminen	36
3.1	Yleisesti.....	36
3.2	Maatutkan hyödyntäminen korjausrakentamisessa	36
4	Perustukset ja alapohjarakenteet	38
4.1	Pohjarakenteiden ja perustusten suunnittelu	38
4.2	Maapohja.....	39
4.3	Perustukset	39
4.3.1	Yleistä	39
4.4	Ongelmat perustuksissa.....	42
5	Salaoja- ja sadevesijärjestelmät.....	43

5.1	Yleistä	43
5.2	Kapillaariveden nousun estäminen	44
5.3	Salaoitusjärjestelmät	45
5.4	Salaojaputket ja -kaivot.....	46
5.5	Vajo- ja pintavesien johtaminen.....	47
5.6	Salaojajärjestelmän kunnossapito ja huolto	49
5.7	Sadevesien johtaminen	49
6	Kuntotarkastus	50
6.1	Kuntotarkastus yleisesti	50
6.2	Kuntotarkastuksen tavoite.....	51
6.3	Kuntotarkastuksesta sopiminen.....	51
6.4	Tilaaajan osallistuminen kuntotarkastukseen	51
6.5	Kuntotarkastuksen valmistelu	52
6.6	Kuntotarkastuksen sisältö.....	52
6.7	Kuntotarkastuksen laajuus	53
6.8	Mittaukset ja muut erityistarkastelut.....	55
6.9	Kuntotarkastuksen rajaukset ja epävarmuustekijät	55
6.10	Kuntotarkastusraportti.....	56
6.11	Vastuut	56
6.12	Apuvälineet	57
7	Maatutkan käyttömahdollisuudet kuntotarkastuksessa ja korjausrakentamisessa ..	57
7.1	Salaojat kuntotarkastusraporteissa	57
7.2	Sadevesijärjestelmät kuntotarkastusraporteissa	57
7.3	Korjausrakentamiseen ja kuntotarkastukseen sopivat maatutkat.....	58
7.4	Kuntotarkastuksia tekevät yritykset	61
8	Esimerkit	61
8.1	Rakennuspaikan pohjatutkimus	61
8.2	Putkien paikannus korjausrakentamisessa	62
9	Yhteenveto	64
	Sanasto	67
	Lähdeluettelo.....	73

1 Johdanto

Tämän työn tarkoituksena on selvittää maatutkan hyödyntämismahdollisuuksia vanhojen rakennusten kuntotarkastuksissa ja korjausrakentamisen apuna näissä sovelluksissa. Maatutkalla pystytään tutkimaan maanalaisia rakenteita ja järjestelmiä, kuten esimerkiksi salaoja- ja sadevesijärjestelmän sijaintia. Samoin pystytään maatutkan muunnosta betonitutkaa käyttämään betonin sisällä sijaitsevien kohteiden havaitsemiseksi.

Kuntotarkastuksessa käydään rakennuksen rakenteet läpi järjestelmällisesti. Tarkastus tehdään aistinvaraisesti rakenteita rikkomatta. Jos rakenteissa havaitaan vaurioita tai riskejä, suoritetaan kyseiselle rakenteelle tarkempia tutkimuksia ja kokeita. Kuntotarkastuksen tuloksena saadaan raportti, jossa kohteesta kerrotaan kaikkien tutkittujen rakenteiden kunto, ja annetaan toimenpide-ehdotuksia kyseisen rakenteen kunnostamiseksi.

Kuntotarkastuksen pohjalta voidaan suunnitella rakennuksen korjaustoimenpiteitä tarpeen mukaan. Tässä työssä on keskitytty salaoja- ja sadevesijärjestelmien sekä pohjarakenteiden kuntotarkastukseen ja maatutkan käyttömahdollisuuksiin näissä tutkimuksissa.

Nykyisten ohjeiden mukaan salaojaputkien päällä olevat rakenteet estävät tai vaikeuttavat maatutkan käyttömahdollisuutta salaojajärjestelmien ja sadevesijärjestelmien havainnoinnissa, mutta toisaalta voidaan maatutkaa käyttää valvomaan onko rakennekerrokset tehty oikein. Rakennuksen vierustan täytöt kuuluu nykyisten ohjeiden mukaan viistota pois päin talosta ja ruokamullan alle tulisi tehdä vettä heikosti läpäisevä kerros esimerkiksi savesta. Maatutkaa ei pystytä käyttämään, jos maaperä on savea, koska se johtaa hyvin sähköä ja vaimentaa maatutkan lähettämän signaalin ja samalla tekee tutkan syvyysulottuvuudesta hyvin matalan.

Vanhoissa rakennuksissa ei välttämättä ole salaojajärjestelmiä. Joissain tapauksissa ei tiedetä, onko rakennuksessa salaojajärjestelmää. Salaojajärjestelmän olemassaoloa ei voida vahvistaa tai poissulkea vain maanpinnalta asiaa tutkien. Kuntotarkastuksissa ei salaojajärjestelmiä etsitä, jos niitä ei esimerkiksi tarkastuskaivojen olemassaolon perusteella voida havaita. Maatutkaa voitaisiin käyttää salaojajärjestelmien havainnointiin kuntotarkastuksen yhteydessä. Maatutka on hyvä ja nopea menetelmä paikantaa maan alle kaivettuja putkia ja muita järjestelmiä. Maatutkan avulla pystytään toteamaan joko salaojajärjestelmän olemassaolo tai sen puuttuminen. Samalla pystytään ainakin joissain tapauksissa arvioimaan myös salaojaputkien kuntoa. Mahdolliset vauriot ja tukokset salaojaputkissa voidaan myös osittain saada näkyviin maatutkan avulla.

Betonitutkalla pystytään tekemään betonin laatututkimuksia, betonin kosteusmittauksia, betoniraudoitustutkimuksia sekä paikantamaan onkaloita ja rakoja betonirakenteista. Betoniraudotteet ja muut metalliset esineet tulevat erityisen selvästi esiin tutkakuvassa, koska ne ovat johteita ja heijastavat tehokkaasti tutkasignaalit vastaanottimeen. Myös tätä voitaisiin hyödyntää joissain tapauksissa kuntotarkastuksen yhteydessä.

Betonitutkalla voidaan myös nähdä putkien ja johtojen sijainti betonin sisällä ja ne voidaan merkitä ennen korjausrakentamisen aloittamista.

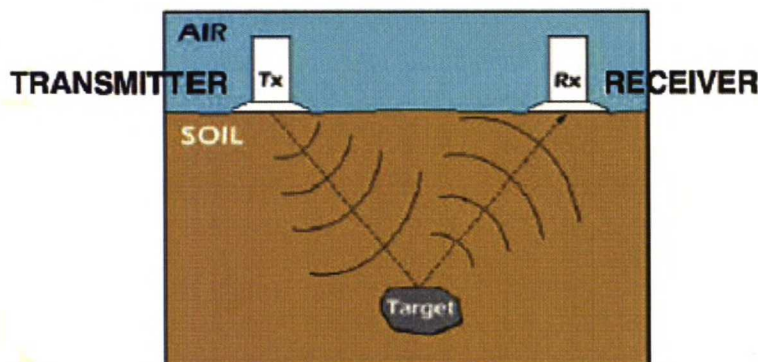
Myös rakennuksen ympärillä olevat muut putket, kuten sadevesijärjestelmät ja viemärit pystytään paikantamaan maatulkin avulla. Näin ollen voitaisiin estää esimerkiksi putkirikot maankaivutöissä.

Maatulkaa voidaan käyttää myös rakennuspaikan maakerrosten ja kalliopinnan syvyyden kartoittamiseen. Kallion syvyys on hyvä olla tiedossa ennen rakentamista, jotta voitaisiin välttää kallista louhintaa tai osattaisiin varautua tulevaan louhintaan jo etukäteen.

2 Maatulka

2.1 Yleistä

Maatulkasta käytetään englanniksi useita eri nimityksiä. Nykyisin käyttöön on vakiintumassa Ground Penetrating Radar (GPR), mutta samaan tekniikkaan viittaavia muita nimityksiä ovat esimerkiksi ground-probing radar, sub-surface radar, georadar ja surface-penetrating radar (SPR)¹.



Kuva 1 Maatulkan toimintaperiaate (Malå Geoscience)

Kuva 1 esittää maatulkan toimintaperiaatteen kaavakuvana. Maatulkia jaotellaan toimintaperiaatteidensa mukaan pulssitulkaan, askeltaajuustulkaan ja taajuusmoduloiutuun jatkuva-aaltotulkaan.²

Maatulkamittauksiin vaikuttavina fysikaalisina parametreina ovat väliaineen sähköjohtavuus ja dielektrisyys sekä magneettinen susceptibiliteetti³.

Maatulkien antennit on olemassa kahdenlaisia. Lähetin ja vastaanotin saattavat olla joko yhdistettynä kotelossa tai erillisissä koteloidissa. Jos molemmat sijaitsevat samassa kotelossa antennit kutsutaan monostaattiseksi, ja jos taas antennit ovat erikseen, on antenni bistaattinen.⁴

¹ Daniels D.J., Ground Penetrating Radar, s.1

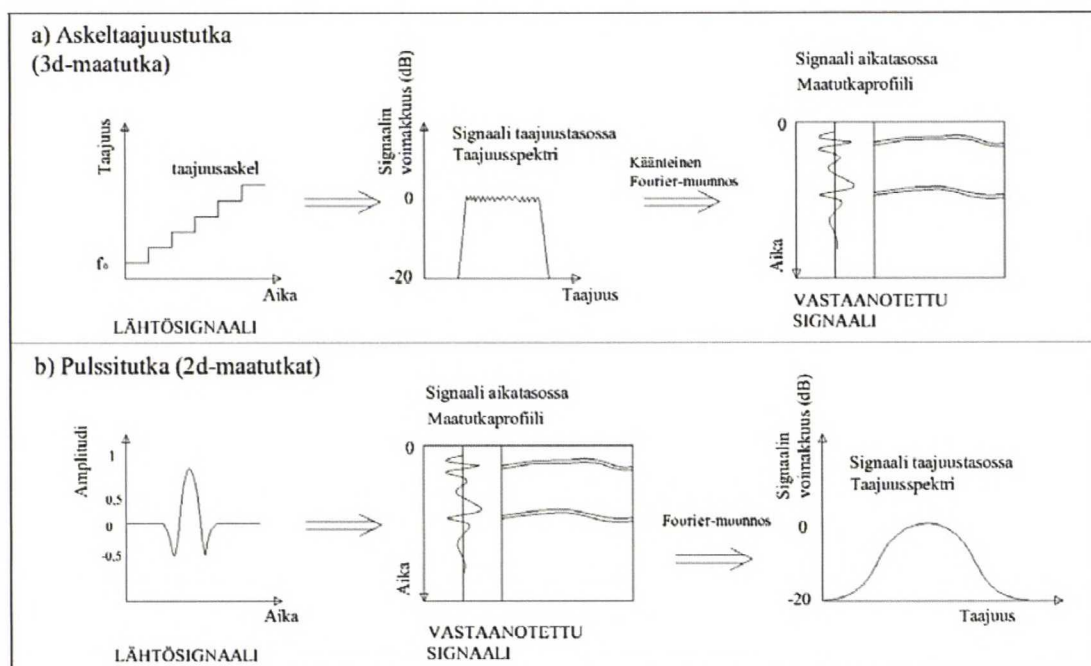
² Passi T., Maatulkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa, s. 20

³ Tiehallinto, Rakenteen parantamissuunnittelua edeltävät maatulkatutkimukset ja tulosten esitystapa – menetelmäkuvaus, 10

⁴ Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1093

Pulssitutkalaite lähettää väliaineeseen lyhytkestoisia sähkömagneettisia signaaleja radiotaajuudella. Signaalit etenevät väliaineessa aaltolina. Pulssitutka-antennit voidaan jakaa karkeasti kahteen luokkaan, ilmastantenneihin ja maavasteantenneihin. Maavasteantennien syvyysulottuvuus on parempi kuin ilmastantennien. Ilmastantennit käyttävät korkeampia taajuuksia ja tämän takia syvyysulottuvuus on normaalisti vain 0,5-0,9 metriä. Tämän takia niitä käytetään pääasiassa tie- ja siltatutkimuksissa.⁵

2D-maatutkaluotausmenetelmien rinnalle on kehitetty 3D-maatutkaluotausmenetelmä eli ns. moniantennitekniikka. 3D tekniikan avulla pystytään rakenteiden ominaisuuksia ja rajapintoja tutkimaan useasta eri pisteestä pituus- ja poikkisuunnassa. Perinteisellä 2D-laitteistolla voidaan mitata yksi mittalinjaa kerrallaan, kun taas uudella 3D-laitteistolla voidaan mitata jopa 31 vierekkäistä linjaa samanaikaisesti. Tällä tekniikalla saadaan luotua 3D-malleja mittauskohteesta.⁶



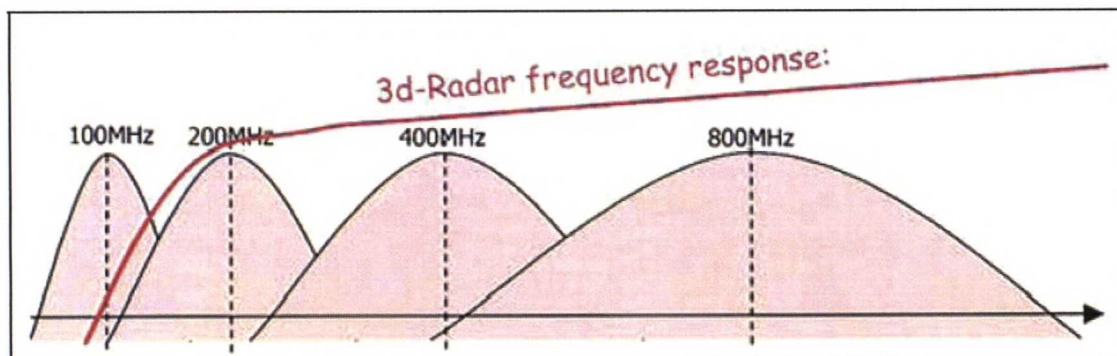
Kuva 2 Askeltaajuustutkan ja pulssitutkan toimintaperiaate (Passi T., Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa, s. 23)

Kuva 2 näyttää askeltaajuustutkan ja pulssitutkan toimintaperiaatteen signaalien muodossa. Askeltaajuustutka lähettää kaikkia taajuuksia yhtä kauan. Askeltaajuustutkan lähetystaajuus on 100-2000 MHz. Signaalit muutetaan jälkiprosessoinnilla aikatasoon, josta voidaan luoda profiili. Koska kaikkia taajuuksia lähetetään yhtä kauan, saadaan taajuusspektri määritettyä paremmin ja tasaisemmin kuin pulssitutkissa. Pulssitutka toimii suoraan aikatasossa (kuva tutkasignaalin muutosta ajan suhteen). Sen taajuuskaista on laaja toisin kuin askeltaajuustutkassa. Se lähettää keskitaajuuden lisäksi

⁵ Passi T., Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa, s. 21

⁶ Passi T., Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa, s. 22

säteilyä nimellistaajuutta suuremmilla ja pienemmillä taajuuksilla (Kuva 2 b ja Kuva 3). Esimerkki pulssitutkan lähettämistä taajuuksista on 400 MHz antenni, joka lähettää signaaleja taajuuksien 200-800 MHz välillä pitäen keskitaajuuden 400 MHz:ssä.⁷ Kuva 3 esitetään erilaisten antennien lähetystaajuuksien kattavuuksien erot. 3D-mittausmenetelmä sopii hyvin kohteisiin, joissa halutaan saada tietoa rakenteista myös poikkisuunnassa.⁸



Kuva 3 3D-antennin lähetystaajuuden kattavuus verrattuna 2D-antenneihin (<http://www.3d-radar.com/military/3d-radar-principle-of-operation>)

2.2 Maatutkan toimintaperiaate

2.2.1 Yleisesti

Tutkamenetelmissä maankamaraan lähetetään radioaaltoja, joko lyhyinä pulsseina tai jatkuvana aaltona, ja vastaanottimella seurataan maankamarasta saatavia heijastuksia.⁹ Maatutkan toiminta perustuu sähkömagnetismiin¹⁰. Se perustuu sähkömagneettisen aallon heijastumiseen sähköisiltä rajapinnoilta ja signaalin kulkuajan mittaamiseen. Kuva 4 esittää maatutkalaitteiston kaavakuvana. Laitteistoon kuuluu lähetin-vastaanotinpari, jonka avulla maanalaiset kohteet havaitaan. Geofysiikassa maatutkan taajuusalue on karkeasti välillä 10–1000 MHz.¹¹ Väliaineeseen lähetetään taajuudesta riippuen nanosekunnista kymmeniin nanosekunteihin kestäviä signaaleja. Signaali etenemistä väliaineessa voidaan kuvata aaltomallilla. Osa aaltoenergiasta heijastuu materiaalin rajapinnalta, osa lävistää rajapinnan ja heijastuu seuraavilta rajapinnoilta noudattaen Snelliuksen lakia (Kuva 5).¹² Kyseisillä taajuuksilla toimivassa mittalaitteessa on kyse kaukokenttää hyödyntävästä menetelmästä. Merkittäviä tekijöitä mittauksen kannalta ovat vaimeneminen sekä sähkömagneettisen kentän aalto-

⁷ Passi T., Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa, s. 23

⁸ Passi T., Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa, s. 23

⁹ Peltoniemi M., Maa- ja kallioperän geofysiikalaiset tutkimusmenetelmät, s. 229

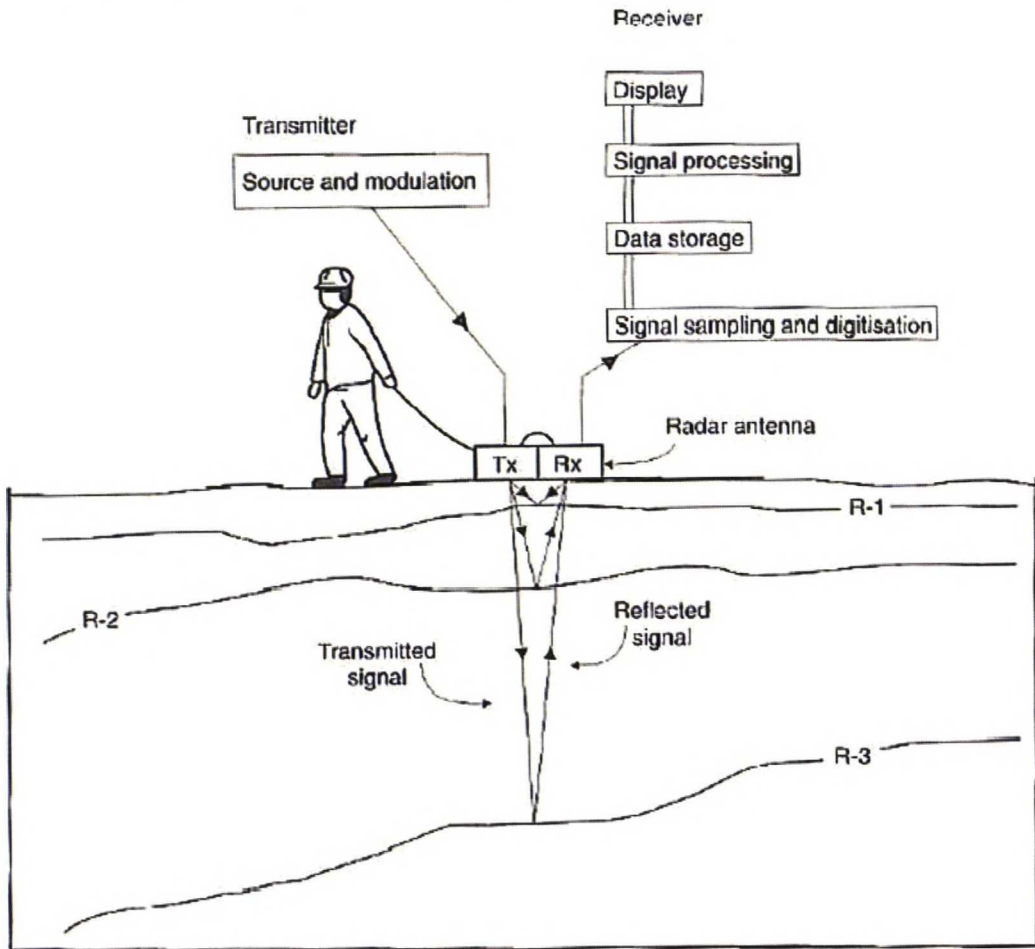
¹⁰ Annan A.P., Ground Penetrating Radar; Principles, Procedures & Applications, s. 9

¹¹ Peltoniemi M., luentokalvot Arkeologia ja oikeuslääketiede, johdatus forensiseen arkeologiaan, 5.11.2008

¹² Passi T., Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa, s. 20

ominaisuudet, kuten aallon heijastumis- ja taittumisilmiöt aineiden rajapinnalla, joiden sähköiset ominaisuudet ovat erilaiset.¹³

Jokaisessa maatutkassa on pulssigeneraattori, joka määrää lähetettävän signaalin pituuden, voimakkuuden ja toistotaajuuden; lähetinantenni, joka lähettää signaalin väliaineeseen; vastaanotinantenni, joka kerää rajapinnoista palaavat signaalit ja vahvistaa ne; sekä näytteenotin, joka muuntaa heijastuneet signaalit tallennettavaan muotoon.¹⁴ Tutkan lähettämät signaalit heijastuvat luonnollisilta tai rakennetuilta rajapinnoilta, joilla on dielektrisiä kontrasteja.¹⁵



Kuva 4 Maatutkan toimintaperiaate kaavakuvana (Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1092)

Maatutkan lähettämä signaali vaimenee kulkuajan funktiona geometrisen vaimennuksen, signaalin sironnan, heijastusten ja sähköisen vaimennuksen vaikutuksesta.¹⁶

¹³ Peltoniemi M., Maa- ja kallioperän geofysikaaliset tutkimusmenetelmät, s. 229

¹⁴ Passi T., Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa, s. 20

¹⁵ Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1092

¹⁶ Tiehallinto, Rakenteen parantamissuunnittelua edeltävät maatutkatutkimukset ja tulosten esitystapa – menetelmäkuvaus, 10

Maatutkamittauksissa pulssien lähetystaajuus on suuri ja samalla mitataan erikseen kunkin heijastuksen kulku-aika ja amplitudi. Amplitudi esitetään sitten kulkuajan funktiona ja näiden perusteella saadaan tulokseksi väliaineen rakenteita kuvaava jatkuva luotausprofiili eli tutkakuva.¹⁷

Maatutkasignaalin syvyysulottuvuus riippuu tutkittavan maaperän laadusta. Hiekkaisessa maaperässä tutkan syvyysulottuvuus on 5...30 metriä, vähäsavisilla maalajeilla 1...5 metriä ja runsassavisessa maaperässä alle 0,5 m.¹⁸

Maatutka sopii erinomaisesti kalliopinnan syvyyden määrittämiseen, jos olosuhteet ovat suotuisat. Kalliopinta saadaan nopeasti ja luotettavasti kartoitettua maatutkalla maaperätutkimuksia varten. Maaperätutkimus tehdään perinteisesti kairamalla ja ottamalla näytteitä maaperästä. Maatutkan avulla maaperästä saadaan kattavampi tieto kuin kairauksilla ja tutkimukseen menee paljon vähemmän aikaa. Kalliopinnan korkeuden määrittämiseksi pitää tehdä esimerkiksi yksi referenssikairaus, jonka avulla pystytään määrittämään signaalin nopeus kyseisessä maalajissa ja sen avulla kerrosrajojen syvyydet.¹⁹

2.2.2 Dielektrisyys

Dielektrisyydellä kuvataan väliaineen kykyä varautua eli polarisoitua ulkoisen sähkökentän vaikutuksesta. Luonnonmateriaaleissa tärkein polarisoituva molekyyli on vesi, jonka määrästä materiaalin dielektrisyysarvon suuruus riippuu. Joillain materiaaleilla ei ulkoisen kentän loputtua materiaalin alkutilanne palaudu. Tällöin puhutaan osittain häviöllisestä polarisaatiosta. Dielektrisyysarvo on näissä tapauksissa kompleksinen luku, jonka reaaliarvo kuvaa palautuvaa polarisaatiota ja imaginääriosaa häviötä.²⁰

Materiaalin dielektrisyyden kasvaessa paranee erotuskyky, koska signaalin aallonpituus lyhenee. Erotuskyvyllä tarkoitetaan sitä, kuinka lähellä toisiaan olevat rajapinnat pystytään tunnistamaan omiksi kerroksiksi. Erotuskyky koskee sekä vaaka- että pystysuuntaista havainnointia.²¹

Suhteellinen dielektrisyysvakio (ϵ_r) voidaan määrittää mittaamalla aallon nopeus väliaineessa,

$$\epsilon_r = \left(\frac{c}{v} \right)^2 \quad (1.)$$

jossa ϵ_r on suhteellinen dielektrisyysvakio, c on sähkömagneettisen säteilyn nopeus tyhjiössä, 0,2998 m/ns ja v on mitattu nopeus väliaineessa [m/ns].²²

¹⁷ Tiehallinto, Rakenteen parantamissuunnittelua edeltävät maatutkatutkimukset ja tulosten esitystapa – menetelmäkuvaus, 10

¹⁸ Daniels D.J., Ground Penetrating Radar, s. 99

¹⁹ Daniels D.J., Ground Penetrating Radar, s. 102

²⁰ Tiehallinto, Rakenteen parantamissuunnittelua edeltävät maatutkatutkimukset ja tulosten esitystapa – menetelmäkuvaus, 10

²¹ Tiehallinto, Rakenteen parantamissuunnittelua edeltävät maatutkatutkimukset ja tulosten esitystapa – menetelmäkuvaus, 12

²² Peltoniemi M., Maa- ja kallioperän geofysikaaliset tutkimusmenetelmät, s. 230

2.2.3 Sähkönjohtokyky

Sähkönjohtokykyyn vaikuttavat materiaalien vapaiden varausten määrä. Ulkoisella sähkökentällä on kyky siirtää varauksia paikasta toiseen. Maatutkasignaalin vaimeneminen riippuu väliaineen vapaiden varausten määrästä ja näiden aiheuttamasta sähkönjohtavuudesta.²³

Väliaine, jolla on suuri sähkönjohtavuus vaimentaa maatutkasignaalin tehokkaasti aiheuttaen syvyysulottuvuuden pienenemisen. Tällainen voimakkaasti vaimentava aine on esimerkiksi savi.²⁴

2.2.4 Maatutkan toiminnan perusyhtälöt

Nopeus häviöllisessä väliaineessa

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.)$$

Jossa v = maatutkan signaalin nopeus väliaineessa
 c = valon nopeus, 0,3 m/ns
 ϵ_r = suhteellinen dielektrinen permeabiliteetti

Maatutkan toiminnassa siirros- eli polarisaatiovirran hallitsevat konduktiovirtojen sijasta eli ehdon

$$\left(\frac{\epsilon\omega}{\sigma}\right) \gg 1 \quad (3.)$$

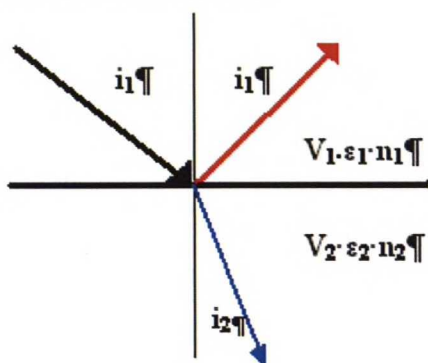
tulee olla voimassa. Kaavassa

ϵ = dielektrinen permeabiliteetti [F/m]

$\omega = 2\pi f$ = kulmataajuus; f = taajuus [Hz]

σ = sähkönjohtavuus [S/m]

Snelliuksen laki (Kuva 5) toimii optiikassa ja sitä voidaan soveltaa maatutkamittauksissa.



Kuva 5 Snelliuksen laki

Lain mukaan

²³ Tiehallinto, Rakenteen parantamissuunnittelua edeltävät maatutkatutkimukset ja tulosten esitystapa – menetelmäkuvaus, 10

²⁴ Passi T., Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa, s. 24

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad (4.)$$

$$\text{eli kun } v_i = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_i}} \quad (5.)$$

$$\text{Ja näin ollen } \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{\sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1}} = \frac{n_2}{n_1} \quad (6.)$$

jossa n = optinen taitekerroin

Tehoheijastuskerroin R kuvaa prosenteissa kuinka suuri osa tutkaenergiasta heijastuu takaisin aineiden 1 ja 2 rajapinnalla

$$R = \frac{(v_1 - v_2)}{(v_1 + v_2)} \quad (7.)$$

jossa v_1 ja v_2 ovat aallonnopeudet kyseessä olevissa kerroksissa.²⁵

R voidaan myös ilmaista

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \quad (8.)$$

Kaavan perusteella heijastuksen polariteetti kääntyy, jos ϵ_1 on pienempi kuin ϵ_2 . Tämä on oletustilanne tie- ja maaperäkohteissa, joissa kosteuspitoisuus kasvaa syvemmälle mentäessä.²⁶

Rajapinnan syvyys saadaan laskettua seuraavasta kaavasta

$$s = \frac{vt}{2} = \frac{ct}{2\sqrt{\epsilon_r}} \quad (9.)$$

jossa s on rajapinnan syvyys [m] ja t on pulssin kaksinkertainen kuluaika [ns].²⁷

Vastaanotetun signaalin aallonpituuteen vaikuttaa käytettävän antennin lähetystaajuus ja väliaineen dielektrisyys. Aallon pituus saadaan laskettua kaavasta

$$\lambda = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}}, \quad (10.)$$

jossa λ on maatutkasignaalin aallonpituus [m] ja f käytetyn antennin keskitaajuus [MHz].²⁸

²⁵ Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1093

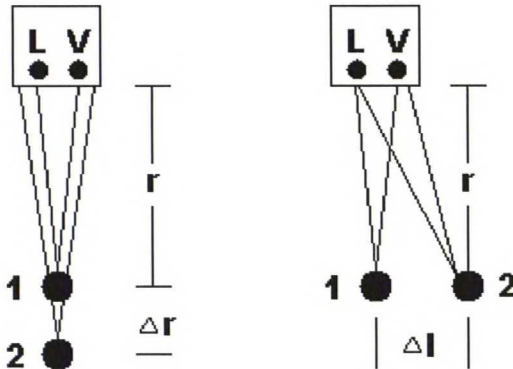
²⁶ Tichallinto, Rakenteen parantamissuunnittelua edeltävät maatutkatutkimukset ja tulosten esitystapa – menetelmäkuvaus, 11

²⁷ Saarenketo T., Electrical properties of road materials and subgrade soils and the use of ground penetrating radar in traffic infrastructure surveys, s. 21

²⁸ Hänninen P., Maatutkaluotaus maaperägeologisissa tutkimuksissa, s. 6

Väliaineen dielektrisyys voidaan laskea seuraavalla kaavalla, kun tiedetään signaalin kulkuaika t , rajapinnan syvyys s ja valon nopeus c .²⁹

$$\varepsilon_r = \left(\frac{2ct}{s} \right)^2 \quad (11.)$$



Kuva 6 Vertikaalinen ja horisontaalinen erotuskyky (muunneltu lähteestä: Annan A.P., Ground Penetrating Radar; Principles, Procedures & Applications, s. 76)

Vertikaalinen erotuskyky (ks. Kuva 6) lasketaan kaavalla

$$\Delta r = \frac{Wv}{4}, \quad (12.)$$

jossa $W = \frac{1}{B} = \frac{1}{f_c}$ = pulssin leveys,

B = kaistaleveys

f_c = keskitaajuus

$v = \lambda_c \cdot f_c$ = signaalin nopeus³⁰

jossa λ_c = keskitaajuuden aallonpituus

Horisontaalinen erotuskyky (ks. Kuva 6) lasketaan kaavalla

$$\Delta l = \sqrt{\frac{vrW}{2}}, \quad (13.)$$

jossa v = signaalin nopeus

r = kohteen syvyys

W = pulssin leveys³¹

Taulukko 1 on valmiiksi laskettuna joidenkin materiaalien materiaaliominaisuuksia.

²⁹ Passi T., Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa, s. 25

³⁰ Annan A.P., Ground Penetrating Radar; Principles, Procedures & Applications, s. 77

³¹ Annan A.P., Ground Penetrating Radar; Principles, Procedures & Applications, s. 78

Taulukko 1 Materiaaliominaisuuksia³²

Materiaali	ϵ'_r [yksikötön]	σ [mS m ⁻¹]	v [m ns ⁻¹]	α' [dB m ⁻¹]
Ilma	1	0	0,2998	0
Tislattu vesi	80	0,01	0,033	0,002
Vesi	80	0,5	0,033	0,1
Merivesi	80	3×10^3	0,01	1000
Kuiva hiekka	3-5	0,01	0,15	0,01
Veden kyllästämä hiekka	20-30	0,1-1	0,06	0,03-0,3
Siltti	5-30	1-100	0,07	1-100
Savi	5-40	2-1000	0,06	1-300
Kalkkikivi	4-8	0,5-2	0,12	0,4-1
Liuske	5-15	1-100	0,09	1-100
Graniitti	6	0,01-1	0,12	0,01-1
Kuiva suola	≈ 6	0,001-0,1	0,125	0,01-1
Jää	3,18	0,01	0,168	0,02
Öljy, asfaltti	2-3	0,01	0,19	0,01

2.2.5 Signaalin vaimeneminen

Sähkömagneettisen signaalin vaimeneminen homogeenisessa väliaineessa on suoraan verrannollista väliaineen sähkönjohtavuuteen ja kääntäen verrannollinen ϵ_r :n neliöjuureen. Vaimeneminen on merkittävää hyvin sähköä johtavissa aineissa. Antennin taajuus vaikuttaa signaalin vaimenemiseen siten, että mitä korkeampi taajuus sitä enemmän signaali vaimentuu. Aallon vaimeneminen väliaineessa voidaan laskea likimäärin kaavalla

$$\alpha = 1636,5\sigma \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \approx \frac{1636,5\sigma}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (14.)$$

jossa α on aallon vaimeneminen väliaineessa [dB/m] ja σ on sähkönjohtavuus [S/m].³³

Signaalien moninkertaiset takaisinheijastumiset ja taittumiset vaimentavat signaalia ja vähentävät signaalin tunkeutumissyvyyttä. Tunkeutumissyvyyteen vaikuttavat myös etenkin signaalin aallonpituutta suuremmat objektit, jotka aiheuttavat signaalin sirontaa. Signaali vaimenee myös antennin ja heijastuksen rajapinnan etäisyyden funktiona.³⁴

Maatutkan signaali jakautuu jokaisella rajapinnalla rajapinnan luonteesta riippuen heijastuvaan ja läpäisevään aallon osaan. Rajapinnan eri puolilla olevien materiaalien dielektrisyys arvojen suhteen ollessa noin 1,0 signaali läpäisee rajapinnan eikä heijastumista tapahdu. Kun dielektrisyiden suhde pienentyy alkaa rajapinnan läpäisevä

³² K. Knödel et al., Environmental Geology, Handbook of Field Methods and Case Studies, s. 288

³³ Passi T., Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa, s. 26

³⁴ Passi T., Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa, s. 26

signaali vaimentua ja heijastuva signaali voimistua. Kun dielektrisyyden suhde pienenee entisestään, tapahtuu signaalin täydellinen takaisinheijastuminen.³⁵

Pienin mahdollinen syvyys pinnasta lukien, jolta prosessoimattomasta maatulka-aineistosta voidaan havaita maassa olevia objekteja, on kolmasosa lähetetyn signaalin aallonpituudesta.³⁶

2.3 Maatulkan käytön historiaa

2.3.1 Historia vuosikymmenittäin

Historiakatsauksessa on pääasiassa käsitelty A.P. Annanin artikkelin GPR - History, Trends, and Future Developments historiaosuutta.

1900 - 1950

Tällä ajanjaksolla tutkittiin radioaaltojen avulla maanpintaa, mutta yhtään raporttia ei ole todistamassa onnistuneista yrityksistä tutkia maata pintaa syvemmmältä.³⁷

1950 - luku

Ensimmäinen raportoitu yritys käyttää maatulkaa maanalaisten piirteiden tunnistamiseksi tehtiin vuonna 1956³⁸. Tämän jälkeen maatulkan käyttöä on raportoitu tihenevällä tahdilla.³⁹

1961 USFA raportoi korkeusmittarin virheistä laskeuduttaessa Grönlannin jäätikölle⁴⁰. Tällöin huomattiin ensimmäistä kertaa, että radioaallot tunkeutuvat materiaalin sisään. Tästä huomiosta alkoi radiokaikuluotaukset jäällä.⁴¹

1960 - luku

Useampia tutkimusryhmiä keskittyi jäällä tapahtuviin radiokaukuluotauksiin 1960-luvulla.⁴² Näistä esimerkkinä Scott Polar Research Institute Cambridgessä, joka yhdessä US Army Electronics Research and Development Laboratoriesin kanssa tekivät laajan tutkimuksen Grönlannissa⁴³. Lisäksi Geophysical and Polar Research Center Wisconsinin yliopistossa oli aktiivinen napa-alueiden ja jäätiköiden tutkimuksissa.⁴⁴ Walford raportoi vuonna 1964 tehdyistä tutkimuksista Antarktiksella⁴⁵.

³⁵ Hänninen P., Maatulkaluotaus maaperägeologisissa tutkimuksissa, s.

³⁶ Passi T., Maatulkatieteiden hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa, s. 27

³⁷ Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Development, s. 254-255

³⁸ El Said M.A.H., Geophysical prospection of underground water in the desert by means of electromagnetic interference fringes, s. 24-30

³⁹ Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 256

⁴⁰ Waite A.H., Schmidt S.J., Gross errors in height indication from radar altimeters operating over thick ice or snow, s. 38-54

⁴¹ Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 256

⁴² Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 256

⁴³ Bailey J.T., et al., Radio echo sounding of polar ice sheet, s.420-421

⁴⁴ Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 256

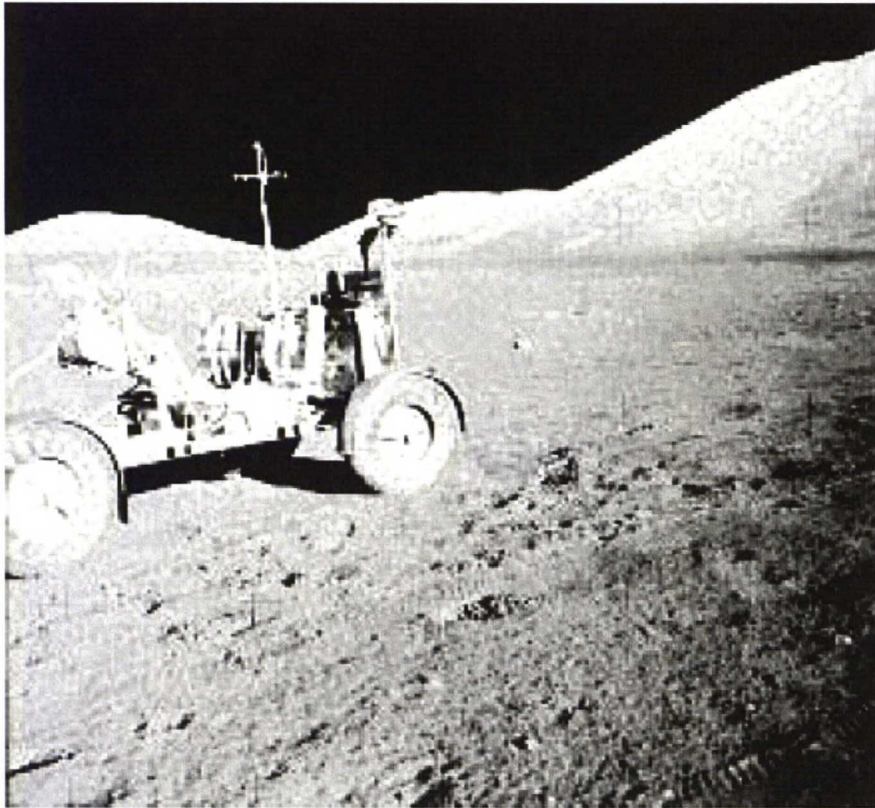
⁴⁵ Walford M.E.R., Radio echo sounding through an ice shelf, s. 317

Jäätikkötutkimuksia jatkettiin myös tällä ajanjaksolla, mutta lisäksi 1960-luvun loppupuoliskolla alettiin tutkia kaikuluotauksen käyttömahdollisuutta muihin geologisiin materiaaleihin.⁴⁶ Tutkittiin myös mahdollisuutta käyttää kaikuluotausta hiilikaivoksissa ja suolakertymien löytämiseksi, koska kyseisillä materiaaleilla on dielektrisiä ominaisuuksia.^{47,48,49,50}

Näihin aikoihin aloitettiin myös Apollo-avaruusohjelmaan liittyen kuun tutkimisen suunnittelu. Kuulla uskottiin olevan samanlaisia sähköisiä ominaisuuksia kuin jäällä. Annan raportoi näistä keksinnöistä, joista tärkein oli antennien aalto kentän ymmärtäminen maan pinnalla sekä muunneltu antennin suuntaavuus.^{51,52}

1970 - luku

Tällä ajanjaksolla nähtiin paljon edistysaskelia. Apollo 17 ohjelmassa oli mukana kuun pintaa tarkasteleva laite (Kuva 7), joka oli samantyyppinen jäätutkimiseen käytetyn laitteen kanssa.⁵³



Kuva 7 Apollo 17 ohjelmassa käytetty kuun pintaa tutkinut laite (lähde: Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 258)

⁴⁶ Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 256

⁴⁷ Cook J.C., Radar exploration through rock in advance of mining, s. 140-146

⁴⁸ Holser W.T., et al, Radar logging of a salt dome, s. 889-906

⁴⁹ Unterberger R.R., Radar propagation in rock salt, s. 312-328

⁵⁰ Thierbach R., Electromagnetic reflections in salt deposits, s. 633-637

⁵¹ Annan A.P., Ground Penetrating Radar; Principles, Procedures & Applications, s. 3

⁵² Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 256

⁵³ Simmons G. et al., Surface Electrical Properties Experiment , in Apollo 17, s. 15-1 – 15-4

1974 perustettiin Geophysical Survey Systems Inc., joka on valmistanut ja myynyt maatutkia siitä lähtien.⁵⁴

Käyttöön saatiin geologisten materiaalien sähköisiä ominaisuuksia radiotaajuuksilla. Esimerkiksi Olhoertin tutkimukset johtivat paljon parempaan ymmärrykseen luonnossa esiintyvien geologisten aineiden sähköisistä ominaisuuksista sekä sähkönjohtavuuden ja dielektrisen polarisaation suhteeseen näissä materiaaleissa.^{55,56}

1970-luvun loppupuolella laitteet kehittyivät tekniikan kehittyessä ja geologisen ymmärryksen kasvaessa. Kanadan geologinen tutkimuskeskus (The Geological Survey of Canada) tutki monia sovelluksia, joista tärkein oli Kanadan arktisten alueiden ikiroudan parempi ymmärtäminen. Kaasun ja öljyn kuljettamisen mahdollisuus putkia pitkin arktisilta alueilta etelään johti suureen kiinnostukseen jäätyneen maan alueella toimimiseen. Maatutkaa käytettiin näiden alueiden tutkimiseen.⁵⁷

Samoin alettiin ymmärtää paremmin hajontaa jäällä tehdyissä kaikuluotauksissa. Watts ja England raportoi hajonnan vaikutuksesta ja tarpeesta käyttää matalampitaajuuksista tutkaa.⁵⁸

1977 Dolphin teki tutkimuksia SRI Internationalille GPR:n käyttämisestä arkeologian apuna New Mexicon Victoria Peakissa sijaitsevilla kaivauksilla.⁵⁹

Uuden tiedon avulla maatutkatekniikkaa alettiin käyttää useammissa geologisissa ympäristöissä kuten potaskakaivoksissa. Tutkimuksen teetti Kanadan geologinen tutkimuskeskus (The Geological Survey of Canada).⁶⁰ Jatkettiin myös maatutkan käyttömahdollisuuksien tutkimista hiilikaivoksissa.⁶¹

1980-luvun vaihteessa alettiin myös tutkia mahdollisuutta hyödyntää kairareikäluotausta kallion laadun tutkimiseen ydinjätteen loppusijoitusta varten. Tämän tutkimuksen teetti Kanadan geologinen tutkimuskeskus yhdessä Atomic Energy of Canadian kanssa.⁶²

GSSI (Geological Survey Systems Inc.) jatkoi markkinoiden hallitsevana maatutkien toimittajana. Oman yrityksensä tulla haastamaan GSSI teki Ensco/Xadar, joka pyrki tuomaan markkinoille vaihtoehtoisen kaupallisen tuotteen GSSI:n tuotteiden rinnalle.⁶³

Maatutkalaitteistojen suuri koko ja energian suuri kulutus tuottivat ongelmia Kanadan geologisen tutkimuskeskuksen tehdessä tutkimuksia syrjäisillä alueilla (Kuva 8). Samoin tuli esille tarve saada data digitaaliseen muotoon. Öljyteollisuudessa oli kehittynyt nopeasti seismisen datan digitaalinen käsittely, ja kun saatiin myös maatutka

⁵⁴ Morey R.M., Continuous subsurface profiling by impulse radar, s. 213-232

⁵⁵ Olhoert G.R., Electrical properties from 10^{-3} to 10^{+9} Hz – physics and chemistry, s.281-298

⁵⁶ Olhoert G.R., The electrical properties of permafrost

⁵⁷ Annan A.P., Davis J.L., Impulse radar soundings in permafrost, s. 383-394

⁵⁸ Watts R.D., England A.W., Radio echo sounding of temperate glaciers, Ice properties and sounder design criteria, s. 39-48

⁵⁹ Dolphin L.T. et al., Radar Probing of Victoria Peak, New Mexico, s. 1441-1448

⁶⁰ Annan A.P. et al., Radar Sounding in Potash Mines: Saskatchewan, Canada, s. 1556-1564

⁶¹ Coon J.B. et al, Experimental uses of short pulse radar in coal seams, 1163-1168

⁶² Davis J.L., Annan A.P., Borehole Radar Sounding in CR-6, CR-7 and CR-8 at Chalk River, Ontario

⁶³ Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 260

data digitaaliseksi, voitiin hyödyntää seismisen tiedon käsittelyyn kehitettyä prosessointia.⁶⁴



Kuva 8 Kanadan arktisilla alueilla käytössä ollut maatutkalaitteisto (lähde: Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 259)

1980 - luku

Tällä ajanjaksolla kiinnostus maatutkaa kohtaan hiipui jonkun verran. Huomattiin, että maatutkaa ei pystytty käyttämään kaikissa olosuhteissa. Usein jäi epäselväksi johtuiko mittausten epäonnistuminen laitevioista vai huonoista luonnonolosuhteista. Kehitystoimintaan ei ollut paljon rahaa käytettävissä.⁶⁵

Japanilainen OYO Corporation kehitti Georadar –tutkan yhteistyössä Xadarin kanssa. Tätä tutkaa käytettiin jonkun verran Euroopassa.⁶⁶

A-Cubed Inc. perustettiin vuonna 1981 ja he aloittivat maatutkien kehittämisen. Tutkat olivat digitaalisia matalataajuus tutkia ja näiden ansiosta maatutkien kehityksessä seurasi pulseEKKO sarja.⁶⁷

Ruotsin geologinen tutkimuskeskus sai rahoitusta monilta mailta kairareikäluotaimen kehittämiseen ydinjätteen loppusijoitustutkimuksia varten.⁶⁸

Maatutkan käyttömahdollisuuksia muilla tutkimuskentillä kuten teiden tutkimisessa ja kartoituksessa tutkittiin vaihtelevalla menestyksellä. Tekniikka oli uutta, eikä se ollut optimaalista näiden sovellusten käyttöön.⁶⁹

Monet ei-kaupalliset kehitysprojektien prototyypit toivat esiin laitteiden kannettavuuden, kuituoptiikan hyödyntämisen sekä digitaalisen nauhoittamisen.⁷⁰

⁶⁴ Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 260

⁶⁵ Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 260

⁶⁶ Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 260

⁶⁷ Davis J.L. et al., Geological sounding with low frequency radar; in extended abstract

⁶⁸ Olsson O., et al., Crosshole Investigations – Results from Borehole Radar Investigations

⁶⁹ Ulriksen C.P.F., Application of impulse radar to civil engineering, s. 175

Yksi vähän raportoitu tutkimus, jonka suorittivat Southwest Research ja Yhdysvaltain armeija, käsitteli tunneleiden löytämistä sotilaallisesti merkittäviltä alueilta reikäutukan avulla.⁷¹

1980-luvun loppupuolella maatulka alkoi löytää paikkansa geofysikaalisena tutkimusvälineenä. Maatulkan heikkoudet ja vahvuudet tunnistettiin ja maanpinnalla ilmenneet ongelmat synnyttivät tarpeen korkeatasoiseen kartoittamiseen. Sitä käytettiin toistuvasti maanalaisessa kartoituksessa ja tämän ansiosta laite alkoi kaupallistua.⁷²

Monia aikaisempia sovelluksia tutkittiin jatkuvasti. Kaupallisissa sovelluksissa siirryttiin matalampitaajuuksiin digitaalisesti nauhoitaviin maatulkiin. Uusia sovelluksia ilmestyi jatkuvasti, kuten esimerkiksi maatalouden käyttöön tarkoitettu maalajien luokittelu sovellus.⁷³

1988 syntyi Sensors & Software Inc., joka jatkoi pulseEKKO-tekniikan kaupallistamista.⁷⁴

1990 - luku

Todellinen räjähdys maatulkan kehityksessä tapahtui 1990-luvun alussa. Tekniikasta kiinnostuttiin ympäri maailmaa. OYO Corporation osti Geological Survey Systems Inc.:n, joka oli saavuttanut laajaa kaupallista menestystä. Samoihin aikoihin syntyi Ruotsin geologisen tutkimuskeskuksen juurilta Malå Geoscience. Englannissa ERA keskitti tutkimuksia maamiinojen ja räjähtämättömien pommien etsimiseen yrityksenään saada kehitettyä tätä varten kaupallinen sovellus. Sensors & Software Inc. kasvoi nopeasti ja laajensi pulseEKKO tuoteperhettä.⁷⁵

Monet yritykset käyttivät resursseja tutkimukseen ja kehitykseen. Kehitystyön tuloksena syntyi erityisiä sovelluksia mm. arkeologiaan, ympäristötutkimukseen ja geologiseen stratigrafiaan.^{76,77,78, 79}

Maatulkan käyttäjät alkoivat järjestää säännöllisiä tapaamisia joka toinen vuosi ympäri maailmaa. Näissä tapaamisissa alalla työskentelevät pystyivät tapaamaan toisiaan, esittelemään tutkimustuloksiaan sekä keskustelemaan ongelmista. Tapaamiset johtivat puolestaan julkaisuihin, joista tulevaisuuden käyttäjät saavat tietoa maatulkan käytöstä.⁸⁰

⁷⁰ Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 260

⁷¹ Owen T.R., Cavity Detection Using VHF Hole to Hole Electromagnetic Techniques, s. 126-141

⁷² Annan A.P., Ground Penetrating Radar; Principles, Procedures & Applications, s. 5

⁷³ Doolittle J.A., Asmussen L.E., Ten years of applications of ground penetrating radar by United States Department of agriculture, s. 139-147

⁷⁴ Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 261

⁷⁵ Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 261

⁷⁶ Goodman D., Ground-penetrating radar simulation in engineering and archeology, s. 224-232

⁷⁷ Brewster M.L., Annan A.P., Ground-penetrating radar monitoring of controlled DNAPL release: 200 MHz radar, s. 1211-1221

⁷⁸ Jol H., Digital ground penetrating radar (GPR): a new geophysical tool for coastal barrier research

⁷⁹ Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 261

⁸⁰ Annan A.P., Ground Penetrating Radar; Principles, Procedures & Applications, s. 6

1990-luvun loppupuoliskolla suurin edistysaskel maatutkan toiminnan kannalta oli tietotekniikan kehittyminen. 3D-ongelmien numeerinen mallintaminen tuli mahdolliseksi vaikkakin vielä vain suurilla tietokoneilla^{81,82}. Suurten digitaalisten tietomäärien hallitsemisesta ja manipuloimisesta tuli arkipäivää. Tämän ansiosta pystyttiin tietoa käyttämään hyväksi kartoissa ja 3D-visualisoinnissa.^{83,84} Markkinoiden vaatimuksesta kehitettiin helppokäyttöisempiä systeemejä kuten esimerkiksi Sensors & Software Inc.:n Noggin Smart Cart (Kuva 9).⁸⁵



Kuva 9 Sensors & Software Inc. Noggin Smart Cart esimerkkinä helposti käytettävästä maatutkasta (Lähde Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 262)

Monissa yliopistoissa oli vahvoja tutkimusryhmiä, jotka toimivat maatutkan parissa. Esimerkiksi ETH:ssa Alan Greenin, Teksasin Yliopistossa George McMechanin ja TU-Delft:ssä Jakob Fokkemain johtamat ryhmät olivat edelläkävijöitä maatutkan tutkimus- ja kehitystyössä.⁸⁶

Maatutkan vektoriluonne tuli yhä tärkeämmäksi tekijäksi. Tämän vektoriluonteen ymmärtäminen alkoi kiinnostaa tutkijoita⁸⁷. Uusi haaste oli myös paikantaa saadut mittaustulokset tarkasti maastoon.⁸⁸

⁸¹ Bergmann T. et al., A simplified Lax-Wendroff correction for staggered-grid FDTD modeling of electromagnetic wave propagation in frequency-dependent media, s. 1369-1377

⁸² Lampe B., Holliger K., Finite-difference modelling of ground-penetrating radar antenna radiation

⁸³ Grasmueck M., 3-D ground-penetrating radar applied to fracture imaging in gneiss, s. 1050-1064

⁸⁴ Annan A.P. et al, Maximizing 3D GPR Image Resolution: A Simple Approach

⁸⁵ Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 262

⁸⁶ Annan A.P., GPR – History, Trends, and Future Developments, s. 263

⁸⁷ Roberts R.I., Daniels J.J., Analysis of GPR polarization phenomena, s. 139-157

⁸⁸ Greaves R.J. et al, Velocity variation and water content estimated from multi-offset, ground penetrating radar, s. 683-695

2000 – luku

2000-luvulla on maatumkan kehitys jatkunut nopeana. Uusia sovelluksia tulee jatkuvasti ja maatumkan käyttö on yleistynyt entisestään. Käyttöön on myös otettu GPS-paikannus maatumkan avuksi. Näin saadaan maatumkamittaukset paikannettua tarkasti kartalle. Tietotekniikka on kehittynyt ja samalla laitteiden koko on pienentynyt ja liikuteltavuus parantunut. Maatumkadatan käsittelyohjelmia on myös kehitetty koko ajan ja niistä on tehty helppokäyttöisempiä.

3D-tutkat ovat tulleet käyttöön 2000-luvulla, ja niitä kehitetään jatkuvasti. 3D-tutkia tehdään sekä askeltaajuus- että pulssitekniikalla.

2.3.2 Maatumkan käytön historia Suomessa

Suomeen tuli ensimmäinen maatumka 1981 Teknillisen korkeakoulun radiolaboratorioon. Radiolaboratoriossa oli 1970-luvun lopulla kehitetty ja valmistettu routatutka, jota kokeiltiin suon kulkukelpoisuuden arvioimisessa. GTK alkoi 1980-luvun alkupuolella selvittää maatumkan käyttömahdollisuutta maaperätutkimuksiin. GTK:lle tuli ensimmäinen maatumka 1985. GTK:lla tutkaa on pääasiallisesti käytetty maaperä- ja turvetutkimuksissa sekä rakennuskivitutkimuksissa. Myös Teknillinen korkeakoulu ja Valtion teknillinen tutkimuskeskus teki turvetutkimuksia 1980-luvun puolivälissä. Vuodesta 1985 lähtien on maatumkaa käytetty aktiivisesti hyväksi Tielaitoksen tietuotantoon liittyvissä kohteissa. Myös Imatran voima hankki maatumkan 1985. Tutkaa käytettiin polttoturvetutkimuksissa sekä patovauriokartoituksissa. Geo-Work Oy oli ensimmäinen maatumkan hankkinut yksityinen yritys, kun maatumka hankittiin 1986. Tämän jälkeen maatumkia on hankittu useisiin yrityksiin, valtion laitoksiin ja yliopistoille. Vuoden 2000 alussa Suomessa oli noin 25 maatumkaa, jotka jakaantuivat yli kymmenelle organisaatiolle.⁸⁹ Vuoden 2010 alussa maatumkia Suomessa on keskusyksiköitä noin 50 ja antennoja toista sataa. Käyttäjiä on yli 20.

2.3.3 Maatumkien sukupolvet

Maatumkalaitteistot voidaan jaotella sukupolvittain tekniikan kehityksen mukaan. 1. sukupolvi oli 1980-luvulla käytössä olleet järjestelmät. 2. sukupolvi koostuu 1980- ja 1990-lukujen vaihteessa käyttöön tulleista digitaalisista maatumkista. 3. sukupolven laitteistot ovat 2000-luvun puolivälin paikkeilla käyttöön tulleet digitaaliset 3D-maatumkajärjestelmät.⁹⁰

2.4 Maatumkan käyttökohteista

Maatumkaa käytetään laajasti rakennusteollisuudessa, esimerkkeinä käyttökohteista ovat tien päällysteiden arviointi, aukkojen havaitseminen ja tunneleiden linjaukset. Geologiassa ja ympäristötutkimuksissa maatumkaa käytetään esimerkiksi pintakerrostumien nopeaan arvioimiseen ja karstisten alueiden vajoamien

⁸⁹ Maatumkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaselämä, Majjala P. Johdanto maatumkamenetelmän historiaan, fysikaalisiin perusteisiin ja sovelluksiin, s. 5

⁹⁰ Roadsacanners

paikantamiseksi. Arkeologiassa maatutkaa käytetään potentiaalisten kaivauspaikkojen löytämiseksi.⁹¹

Maatutkan antennin taajuus vaikuttaa tutkan käyttöominaisuuksiin. Pääsääntöisesti geologiassa syvyysulottuvuus on tärkeämpää kuin tarkka resoluutio, tällöin käytetään maatutkassa antennia jonka taajuus on välillä 25 – 250 MHz. Insinöörirakentamisessa antennin taajuus on yli 250 MHz, normaali taajuusalue asettuu välille 900 MHz ja 2 GHz.⁹²

2.5 Maatutkatutkimuksen suunnittelu, suoritus ja mittauksen jälkeiset työt

2.5.1 Suunnittelu

Tehokas maatutkamittaus vaatii huolellista suunnittelua. Tärkein etukäteen mietittävä asia on tutkimusongelman määrittäminen. Maatutkatutkimuksiin valmistautumisessa tulee seuraavat kuusi asiaa olla selvitettyinä⁹³:

- **Tutkimustaajuus (operating frequency)** – Taajuuden määrittely ei ole yksinkertaista. Taajuusmäärittelyssä joudutaan tekemään ratkaisu ottaen huomioon kolme seikkaa; resoluutio, syvyysulottuvuus ja laitteiston liikuteltavuus. Pääsääntönä pidetään, että taajuus määritellään syvyysulottuvuustarpeen mukaan, koska tarkasta resoluutiosta ei ole apua jos tutkimuskohde jää saavuttamatta. Seuraavan yhtälön avulla pystytään taajuus määrittelemään karkeasti:

$$\log_e f = -0,95 \log_e z + 6,15 \quad (15.)$$

jossa f on tutkimustaajuus ja z on tarvittava syvyysulottuvuus

- **Aikaikkunan määrittely (Estimating the time window, t_w)** – Tarvittava aikaikkuna määritellään seuraavan lausekkeen avulla

$$t_w = 1,3 \frac{2z}{v} \quad (16.)$$

jossa z on tarvittava maksimisyyvyysulottuvuus ja v on miniminopeus.

Lauseke antaa 30 % suuremman arvion ajasta, jotta epävarmuudet syvyysulottuvuudessa sekä nopeudessa pystytään kattamaan. Jos tutkimuskohteen sähköisistä ominaisuuksista ei ole tietoa, otetaan ensimmäinen arvio alueella vallitsevan kosteuden ja huokoisuuden mukaan. Suomessa on tapana arvata ensimmäinen $\epsilon_r \approx 9$

- **Näytteenottoväli (sampling interval)** - Yksi tutkamittauksen kannalta merkittävistä parametreista on näytteenottoväli. Ennen mittauksen aloitusta tulee päättää, mikä on signaalin näytteenottotaajuus. Näytteenottotiheyttä määrää

⁹¹ Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1091

⁹² Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1092

⁹³ Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1094

Nyquistin näytteenottoteoreema, jonka mukaan väli saa olla enintään puolet korkeimman taajuuden ajasta. Hyvän tutkimittauksen kannalta tulisi näytteenottovälin olla noin kuusi kertaa käytettävän antennin keskimääräisen taajuuden eli

$$t = \frac{1000}{6f}, \quad (17.)$$

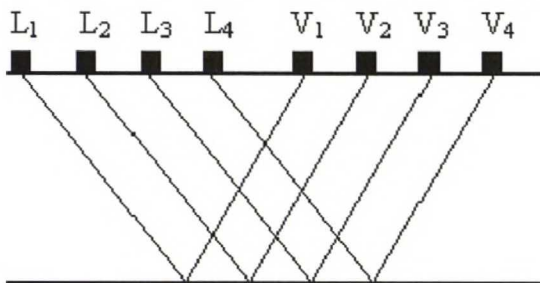
jossa f on taajuus [MHz] ja t on aika [ns].

- **Lähetin-vastaanotinväli (antenna separation)** – Useimmissa maatutkissa on erikseen lähetin- ja vastaanotin-antennit. Antennien välimatkaa muuttamalla voidaan maatutkalaitteistoa optimoida kyseessä olevan kohteen havaitsemiseksi. Välimatka lähettimen ja vastaanottimen välillä tulisi määritellä niin, että refraktio huippu asettuisi tutkimussyvyyyteen. Antennien välimatkaa lisäämällä lisääntyvät myös heijastukset vaakatasossa olevista litteistä pinnoista. Tästä voi olla hyötyä joissain tutkimuksissa.
- **Antennien suuntaaminen (antenna orientation)** – Yleensä maatutkamittausten antennit ovat dipolaarisia ja ne säteilevät toivotulla polariteetilla. Antennit on yleensä polaroitu yhdensuuntaisiksi kohteen pitkän akselin tai kulun suunnan kanssa.
- **Pistetiheys (station spacing)** – Pistetiheys riippuu mittauksen keskitaajuudesta ja maanalaisen materiaalin dielektrisistä ominaisuuksista. Mittaustiheyden ei tulisi ylittää Nyquistin näytteenottoteoremaa, jotta voidaan varmistaa, ettei maavastus ole spatiaalisesti laskostuva.⁹⁴

2.5.2 Mittauksen suorittaminen

Maatutkamittaukset voidaan suorittaa useammalla tavalla. Mittaukset eroavat toisistaan lähetinantennin ja vastaanotinantennin sijainnin perusteella. Mittaukset voidaan suorittaa esimerkiksi seuraavilla neljällä tavalla.

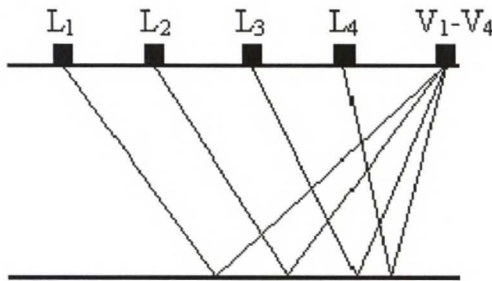
Ensimmäisessä vaihtoehdossa lähetin- ja vastaanotinantennin välimatka pidetään vakiona koko tutkimuksen ajan. Tästä on periaatekuva Kuva 10.



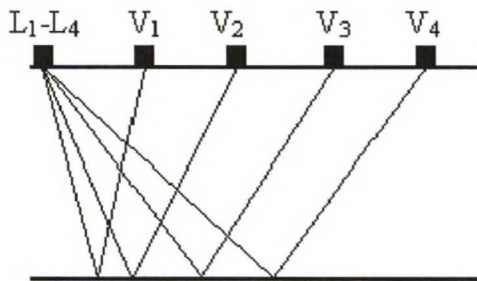
Kuva 10 Vakio välimatka (Common offset) periaatekuvana (L=lähetinantenni ja V=vastaanotinantenni) (lähde Daniels D.J. Ground Penetrating Radar, s. 34)

⁹⁴ Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1094-1096

Seuraavassa vaihtoehdossa siirretään joko lähetinantennia tai vastaanotinantennia toisen pysyessä paikallaan. Kuva 11 siirretään lähetintä vastaanottimen pysyessä paikallaan. Kuva 12 siirtyy vastaanotinantenni lähetinantennin pysyessä koko ajan samassa paikassa.

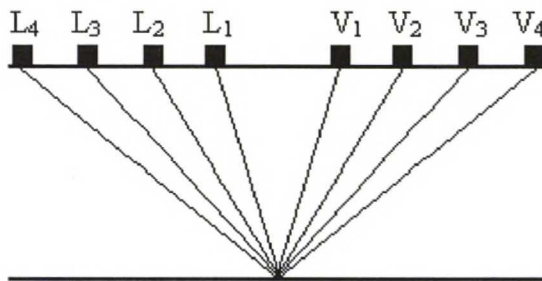


Kuva 11 Yhteinen vastaanotin (Common receiver) periaatekuvana (L=lähetinantenni ja V=vastaanotinantenni) (lähde Daniels D.J. Ground Penetrating Radar, s. 34)



Kuva 12 Laajakulmainen heijastus-taittumis (WARR, Wide Angle Reflection and Refraction) menetelmän kaavakuva (L=lähetinantenni ja V=vastaanotinantenni) (lähde Daniels D.J. Ground Penetrating Radar, s. 34)

Viimeisessä vaihtoehdossa siirretään sekä lähetinantennia että vastaanotinantennia saman matkan verran tietyn keskipisteen suhteen. Tämä periaate selviää Kuva 13.



Kuva 13 CMP (common midpoint) menetelmän kaavakuva (L=lähetinantenni ja V=vastaanotinantenni) (lähde Daniels D.J. Ground Penetrating Radar, s. 34)

2.5.3 Mittauksen jälkeiset työt

2.5.3.1 Aineiston alkukäsittely

Aineiston alkukäsittelyssä tutka-aineistoa editoidaan ja yhdistetään eri tavoin hankitut tiedot samaan aineistoon. Editointi sisältää operaatioita, jotka eivät muuta datan varsinaista tietosisältöä. Näitä operaatioita ovat esimerkiksi hyvin häiriöllisten

mittausten eli pyyhkäisujen ja mittausosuuksien poisto, matkamittakaavan vakiointi, eri mittauslinjojen yhdistäminen ja erottelu sekä tiedostojen mittaussuunnan kääntäminen.⁹⁵ Häiriölliset pyyhkäisyt ja mittautulokset poistetaan. Näin varmistetaan, ettei häiriöllinen tieto sotke muuta aineistoa prosessoinnin yhteydessä.⁹⁶

Matkamittakaavan vakioinnilla lasketaan aineistoon interpoloimalla lisää pyyhkäisyjä tai poistetaan pyyhkäisyjä tarvittaessa niin, että lopullisessa aineistossa on tietty määrä mittauksia metrillä ja saadaan oikea linjan kokonaispituus. Mittauksia tehtäessä käytetään lähes aina matkapyörää tai jotain muuta matkamittaria, jonka ansiosta aineistossa tulisi olla oikea määrä mittauksia jokaisella metrillä. Joskus maasto on kuitenkin niin epätasaista, että matkapyörä luistaa ja pomppii ja tällöin tasoitusoperaatio on tarpeellinen, vaikka matkapyörää on käytetty.⁹⁷

Tiedostojen mittaussuunnan kääntämisellä voidaan kääntää kaikki rinnakkaiset mittauslinjat samansuuntaisiksi. Tiedostoja leikkelemällä saadaan tiedostossa peräkkäin olevat mittalinjat erotettua omiksi linjoikseen. Yhdistämällä tiedostoja, voidaan paloissa samalla linjalla tehdyt mittaukset yhdistää yhdeksi linjaksi yhteen tiedostoon.⁹⁸

Mittauksen kanssa yhtäaikaaisesti voidaan linjan paikkatiedot tallentaa omaan tiedostoonsa tarkkuus GPS-laitteella. Aineistonkäsittelyohjelmalla voidaan yhdistää GPS tieto GPR tiedon kanssa samaan tiedostoon.⁹⁹

2.5.3.2 Aineiston prosessointi

Maatutkamittauksen jälkeisen työn määrä riippuu tutkimuskohteesta. Aineiston prosessoinnin tarkoituksena on erottaa toisistaan haluttu informaation osa ja sitä hämärtävät ja peittävät osat. Prosessoinnilla parannetaan signaalin tulkittavuutta. Aineiston prosessoinnissa on tärkeä, että henkilö, joka suorittaa prosessoinnin on tietoinen siitä, miten haluttu informaatio näkyy datassa ja miten käsittelyoperaatioilla vaikutetaan datan sisältöön.¹⁰⁰

Datan prosessoinnin määrä ja tarve riippuu tutkittavasta kohteesta, rekisteröinnin laadusta sekä käytettävistä resursseista. Tutkakuvissa on aina kohinaa, häiriöitä ja kyseessä olevan tutkimuksen kannalta tarpeettomia signaaleja, jotka peittävät tutkittavaa kohdetta. Prosessointia ei ole tarpeen tehdä, jos edellä mainituista asioista huolimatta tutkittava tieto on näkyvissä alkukäsittelyoperaatioiden jälkeen.¹⁰¹

Tärkeimmät jälkityö- ja tulkintamenetelmät ovat:

- **Vahvistus (gain recovery)** – Tutka-aaltojen levitessä maahan heijastumisen ja taittumisen kautta vähenee sähkömagneettinen kentän voimakkuus maahan leviämisen takia sekä maan johtavuuden ansiosta. Tästä johtuen signaalin amplitudi on paljon pienempi myöhemmässä vaiheessa. Vahvistuksen tarkoitus

⁹⁵ Maatutkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaseminaari, Maijala P., Maatutkaluotausaineiston käsittely, s. 52

⁹⁶ Maatutkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaseminaari, Maijala P., Maatutkaluotausaineiston käsittely, s. 52

⁹⁷ Maatutkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaseminaari, Maijala P., Maatutkaluotausaineiston käsittely, s. 52

⁹⁸ Maatutkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaseminaari, Maijala P., Maatutkaluotausaineiston käsittely, s. 52

⁹⁹ Maatutkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaseminaari, Maijala P., Maatutkaluotausaineiston käsittely, s. 53

¹⁰⁰ Maatutkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaseminaari, Maijala P., Maatutkaluotausaineiston käsittely, s. 53

¹⁰¹ Maatutkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaseminaari, Maijala P., Maatutkaluotausaineiston käsittely, s. 53

on vahvistaa kaukaa heijastuneita signaaleja. On olemassa useita matemaattisia vahvistusmenetelmiä:

- **AGC** (automatic gain control) yrittää tasoittaa kaikki signaalit vahvistamalla niitä kääntäen verrannollisesti signaalin vahvuuteen verrattuna.¹⁰²
- **SEC** (spreading and exponential compensation) yhdistää lineaarisen ja eksponentiaalisen aikavahvistuksen.¹⁰³
- **Suodatus (filtering)** – Suodattamisen tarkoitus maatumittauksissa on ylimääräisen kohinan poistaminen, jättäen jäljelle vain tarpeelliset heijastukset. Taajuussuodatuksia voidaan tehdä joko yksiulotteisesti tai kaksiulotteisesti. Yksiulotteista suodatusta on sekä vertikaalisena että horisontaalisena ja se tehdään yhdelle aikasarjalle kerrallaan. Vertikaalisessa suodatuksessa aikasarja muodostuu yhden pyyhkäisyn näytteistä ja horisontaalisessa suodatuksessa käsitellään usean rinnakkaisen pyyhkäisyn samassa aikatasossa olevia näytteitä. Suodatuksia tehtäessä on olennaista tuntea signaalin taajuussisältö. Taajuussisältö voidaan selvittää Fourier-muunnoksen avulla.¹⁰⁴ Vertikaalisuodatuksessa poistetaan korkeataajuisia kohinaa ja matalataajuisia signaalin värähtelyä. Horisontaalisuodatuksella voidaan poistaa pyyhkäisyltä toiselle toistuvaa taustaa. Tästä erikoistapauksena on vakiotaukustaan poisto. Kaksiulotteisessa suodatuksessa tehdään suodatus vinosti matka- ja aikakoordinaattien suhteen.¹⁰⁵
 - **trace-to-trace averaging** – Tällä menetelmällä lisätään kaksi tai useampia pyyhkäisyjä, jotta aikaansaadaan keskimääräinen pyyhkäisy. Tämän menetelmän tarkoituksena on korostaa vaakatasossa olevia tai loivasti kallistuvia heijastuksen kohteita samalla kuin vaimennetaan nopeasti muuttuvia heijastuksen kohteita.¹⁰⁶
 - **down-to-trace averaging** – Tässä menetelmässä korvataan tietyn pyyhkäisyn mittauspisteen arvo laskemalla kyseisen pisteen ympärillä olevien pisteiden keskiarvo. Tällainen mittauspisteiden keskiarvojen käyttö suodattaa ylimääräistä kohinaa keskiarvottamalla.¹⁰⁷
 - **trace-to-trace differencing** - Tässä menetelmässä jokainen pyyhkäisy korvataan pyyhkäisyn ja sitä edeltäneen pyyhkäisyn erotuksella (lukuun ottamatta ensimmäistä pyyhkäisyä). Tämä suodatin korostaa nopeasti

¹⁰² Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1096

¹⁰³ Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1096

¹⁰⁴ Maatutkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaseminaari, Maijala P., Maatutkaluotausaineiston käsittely, s. 54

¹⁰⁵ Maatutkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaseminaari, Maijala P., Maatutkaluotausaineiston käsittely, s. 54

¹⁰⁶ Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1096

¹⁰⁷ Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1096

muuttuvien piirteiden heijastuksia ja häivyttää vaakatasoisten tai jatkuvien muodostumien heijasteet.¹⁰⁸

- **delete mean trace** – Tätä suodatinta käytetään voimakkaiden ja vaakatasoisten kerrannaisten poistamiseen tutkakuvista. Suodatin laskee keskimääräisen pyyhkäisyn valitulta alueelta, joka tämän jälkeen vähennetään kaikista pyyhkäisyistä. Normaalisti tämän suodattimen käyttöön tarvitaan suuri määrä pyyhkäisyjä.¹⁰⁹
- **frequency domain filtering** – Tällä suodattimella voidaan dataa muokata kolmella tavalla; ali-, yli- ja kaistanpäästö suodatuksella.¹¹⁰
- **subtract DC-shift** – Tällä suodattimella poistetaan tasavirtakomponentti mittauksista.¹¹¹
- **Signaalien summaaminen (stacking)** – Signaalin summaamisella eli pinoamisella tarkoitetaan joko samasta pisteestä tehtyjen mittausten tai samalla keskipisteellä tehtyjen mittausten summaamista, jotta saataisiin parempi signaali-kohina suhde. Samalla keskipisteellä tehtävien mittausten etuna on, että tuloksesta saadaan arvio väliaineen syvyyssuuntaisesta dielektrisyysarvojen jakaumasta.¹¹²
- **Dekonvoluutio (deconvolution)** – Dekonvoluutiossa rekonstruoidaan maan vastetta niin hyvin kuin mahdollista mitatun rekisteröinnin, tunnetun lähtösignaalin ja kohinan avulla. Operaatiolla voidaan terävöittää tutkasignaalia ja poistaa moninkertaiset heijastukset.¹¹³
- **Mallintaminen (modelling)** – Maatutka analyysissä käytetään laajasti avuksi mallintamista, jossa teoreettiset tutkagrammit rakennetaan kerrokselliseksi malliksi, jotta saadaan tietoa heijastustapahtumien fyysisestä merkityksestä, joka sisältyy tutkapoikkileikkaukseen. Mallinnuksen kolme päätekniikkaa ovat 1D-mallinnus (1D-modelling), säde-reitti -mallinnus (ray path modelling) sekä F-k – mallinnus (F-k modelling).
 - **zero-offset modelling** – Tämä mallinnusmenetelmä käyttää kaksiulotteista säteiden jäljittämistä olettaen, että lähetin ja vastaanotin ovat yhteydessä toisiinsa. Sekä vaimennusta että nopeutta voidaan muuttaa missä vaiheessa tahansa. Malli sallii vaihtelevan topografian ja sisältää antennin mallin. Malli ei ota huomioon difraktiota eikä

¹⁰⁸ Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1096

¹⁰⁹ Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1096

¹¹⁰ Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1096

¹¹¹ Sandmeier geophysical software – REFLEX 2D-Quick guide, s. 13

¹¹² Maatutkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaseminaari, Maijala P., Maatutkaluotausaineiston käsittely, s. 55

¹¹³ Maatutkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaseminaari, Maijala P., Maatutkaluotausaineiston käsittely, s. 55

lyhytaikaista aaltoluonnetta eikä myöskään moninkertaisia heijastuksia.¹¹⁴

- **finite-offset modelling** – Myös tämä mallinnusmenetelmä käyttää kaksiulotteista säteiden jäljitystä, mutta sallii lähettimen ja vastaanottimen olemisen erillään.¹¹⁵
- **F-k modelling** – Tämä menetelmä käyttää kaksiulotteista Fourier lähestymistä muuntaessaan yksittäisen tai jatkuvan viivan heijastajia yhtenäiseksi nopeudeksi.¹¹⁶
- **Migraatio (migration)** – Migraation tarkoituksena on muuttaa maatutkan aaltomuodot maanalaisen geologian tarkaksi kuvaksi. Kuten heijastusseismisissä menetelmissä, myös maatutkaprofiileita joudutaan siirtämään, koska heijastuspisteet eivät välttämättä sijaitse kohtisuoraan maanpinnan tutkimuspisteiden alapuolella.¹¹⁷ Migraatio on herkkä vaaka- ja pystysuuntaisille nopeusvaihteluille ja tämän takia sen käyttö sopii parhaiten suhteellisen homogeenisiin materiaaleihin kuten jähkään.¹¹⁸
Tärkeimmät syyt maatutkaprofiilin migraatioon ovat:
 - Kallistuvien rakenteiden oikea rakenteellinen sijoittaminen
 - Sironnasta ja siirrosrajoista johtuva difraktio
 - Läpikulkevien rakenteiden löytäminen
 - Resoluution parantaminen¹¹⁹
- **Aikaleikkaus (time slices)** – 3D-maatutkadata katsotaan tilavuudelliseksi ja sitä voidaan tämän takia viipaloida useilla tavoilla. Data, joka on viipaloitu horisontaalisesti muodostaa aikaviipaleen, joka antaa tulkitsijalle mahdollisuuden luoda 2D-karttoja ja jopa 3D-kuvauksia amplitudin ääriviivojen mukaan helposti ja tarkasti.¹²⁰
- **Topografiakorjaus** – Tämän korjauksen avulla aineisto muutetaan vastaamaan tietyllä korkeustasolla tehtyä mittausta. Korjauksen edellytyksenä on, että korkeusvaihtelut on rekisteröity ja ne voidaan sitoa tutkakuvaan. Topografiakorjauksen ansiosta saadaan tutkakuva vastaamaan todellisia geologisia ja geoteknisiä leikkauksia, jolloin rakenteiden tunnistaminen helpottuu.¹²¹

¹¹⁴ Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1097

¹¹⁵ Cai J., McMechan G.A., Ray-based synthesis of bistatic ground-penetrating radar profiles, s. 87-96

¹¹⁶ Zeng X. et al., Comparison of Ray and Fourier methods for modeling monostatic ground-penetrating radar profiles, s. 797-806

¹¹⁷ Bitri A., Grandjean G., Frequency-wavenumber modelling and migration of 2D GPR data in moderately heterogeneous dispersive media, s. 287-301

¹¹⁸ Maatutkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaseminaari, Maijala P., Maatutkaluotausaineiston käsittely, s. 55

¹¹⁹ Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1097

¹²⁰ Casas A. et al., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, s. 1097

¹²¹ Maatutkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaseminaari, Maijala P., Maatutkaluotausaineiston käsittely, s. 57

2.6 Maatutkan nykyinen käyttö ja tulevaisuus

2.6.1 Yleistä

Maatutka on vakiinnuttanut paikkansa huomioon otettavana geofysikaalisena tutkimusvälineenä. Tutkimusryhmät keskittyvät kehittämään parempia mallinnustyökaluja ja analysointiohjelmia. Materiaalien sähköisten ominaisuuksien mittauksissa on vielä työtä tehtäväksi. Maatutkan kehitystyön hidasteena on aikaisemmin ollut tietokonekaluston kykenemättömyys käsitellä tietoa, jota ohjelmista saadaan. Nykyisten tietokoneiden kanssa ei tätä ongelmaa enää ole.¹²²

Nykyinen maatutkakalusto toimii luotettavasti. Luotettavan laitteiston kehitys on ollut haasteellista, koska laitetta käytetään vaihtelevassa ympäristössä monien häiriötekijöiden ympäröimänä ja vasta viime aikoina on saatu laitteet toimimaan luotettavasti. Luotettavan toiminnan ansiosta voidaan nykyään alkaa keskittymään tuloksien amplitudista saatavan tiedon analysointiin.¹²³

Maatutkan tulevaisuuden näkymät ovat valoisat. Kehitystyö on koko ajan käynnissä ja uusia sovelluksia ilmestyy tiheään tahtiin.¹²⁴

2.6.2 Nykyiset käyttösovellukset maailmalla

Geologiassa maatutkaa käytetään nykyisin esimerkiksi seuraaviin tutkimuksiin:

- Halkeamien ja onkaloiden havaitseminen luonnossa
- Vajoamien kartoittaminen
- Hiekkamuodostumien geometrian kartoittaminen
- Pinnallisten esiintymien kartoittaminen
- Maalajien kerrosjärjestyksen kartoittaminen
- Jäätikkögeologiset tutkimukset
- Mineraalien tutkimus ja mineraalivarantojen arviointi
- Turvekerroksen paksuuden määrittäminen ja turvevarantojen arviointi
- Ikiroudin tutkiminen
- Jääkiilojen paikallistaminen
- Kivisuolan halkeamien kartoittaminen
- Siirrostien, juonien, kivihiiliflötien jne. paikallistaminen
- Geologisten rakenteiden kartoittaminen
- Järvien ja jokien rantasedimenttien kartoitus

Ympäristötutkimuksissa käytetään maatutkaa esimerkiksi seuraaviin tarkoituksiin:

- Saastekerrostumien kartoitus
- Pohjaveden saasteiden kartoittaminen ja valvonta
- Maankaatopaikkojen tutkiminen
- Haudattujen polttoainesäiliöiden ja öljytynnyriä paikantaminen
- Kaasuvuotojen paikantaminen

¹²² Annan A.P., Ground Penetrating Radar; Principles, Procedures & Applications, s. 7

¹²³ Annan A.P., Ground Penetrating Radar; Principles, Procedures & Applications, s. 7

¹²⁴ Annan A.P., Ground Penetrating Radar; Principles, Procedures & Applications, s. 8

- Pohjavesi tutkimukset

Glasiologiassa maatulkaa kätetään esimerkiksi seuraaviin tarkoituksiin:

- Jään paksuuden kartoitus
- Jään sisäisten rakenteiden määrittäminen
- Jään liikkumisen tutkiminen
- Peitossa olevien pinnallisten ja pohjalla olevien jäärailojen havaitseminen
- Jään sisäisten vesi "putkien" kartoittaminen
- Meri- ja järviään paksuuden ja tyypin määrittäminen
- Jäätikönaalaisen massan tasapainon määrittäminen
- Lumen kerrosjärjestyksen kartoittaminen

Rakentamisessa ja tietutkimuksessa maatulkaa kätetään apuna esimerkiksi seuraavissa tarkoituksissa:

- Laadunvarmennus (rakenteiden paksuudet, asfaltin tiiviysaste)
- Rakenteiden parannuksen suunnittelu (rakenteiden paksuudet ja vauriodiagnostiikka)
- Teiden pohjatutkimukset
- Siltatutkimukset
- Kaapeleiden ja putkien paikannus
- Teiden päällysteiden analysointi
- Aukkojen löytäminen
- Betonin raudoitusten paikallistaminen
- Julkisten putkien, kaapeleiden jne. paikallistaminen
- Rakennusmateriaalien rikkoutumattomuuden testaus
- Betonin testaaminen

Arkeologiassa maatulkaa kätetään esimerkiksi seuraaviin tarkoituksiin:

- Hautautuneiden rakenteiden paikantaminen
- Roomalaisten teiden paljastaminen ja kartoitus
- Tolppien paikkojen paikantaminen
- Ennen kaivauksia tehtävä kartoitus
- Onkaloiden (esim. hautaholvien) paikantaminen
- Hautojen paikantaminen

Oikeudellinen tutkinta kätetää maatulkaa apuna esimerkiksi

- Haudattujen kohteiden paikantamiseen (esim. ruumiit ja arvometallikätköt)¹²⁵

2.7 Maatulkamittausten ongelmat

Maatulkamittauksia ei pystytä suorittamaan kaikissa olosuhteissa. Muun muassa seuraavat tekijät vaikuttavat maatulkamittausten onnistumiseen:

- johtava maaperä
- lohkarleet ja/tai monisärmäiset heijastuspinnat
- signaalin nopeuden vaihteittainen muutos maankamarassa

¹²⁵ Reynolds J.M., An Introduction to Applied and Environmentl Geophysics, s. 683

2.8 Suomalainen ja kansainvälinen järjestötoiminta

Suomessa maatutka-alan ihmisille on perustettu Maatutkarengas ry, jonka tarkoituksena on yhdistää maatutkaa käyttäviä ihmisiä. Maatutkarengas perustettiin vuonna 1989 Rovaniemellä. Yhdistyksen toimintamuodoiksi on vakiintunut kokousten, keskustelutilaisuuksien ja laitetestausten järjestäminen. Kokouksissa on esitelty uusimpia laitteita ja aineistonkäsittelyohjelmia sekä pidetty esitelmää ajankohtaisista aiheista.¹²⁶

Kansainvälisestikin maatutkan käyttäjät ovat järjestäytyneet. Käyttäjät ovat kokeneet tarpeelliseksi omien erikoiskonferenssien järjestämisen. Maatutkan käyttäjät ovat hyvin epähomogeeninen joukko, joka koostuu muun muassa arkeologeista, aarteensijöistä, biologeista, glasiologeista, maantieteilijöistä, maarakennusinsinööreistä, geofyysikoista ja geologeista. Näin eri alojen maatutkan käyttäjät tapaavat toisiaan ja voivat vaihtaa kokemuksia. Kansainvälisiä konferensseja on järjestetty joka toinen vuosi vuodesta 1986 alkaen. Vuoden 1994 konferenssin yhteydessä perustettiin kansainvälinen maatutkan käyttäjien komissio, jonka tehtävänä on valvoa maatutkakäyttäjien etua esimerkiksi radiotaajuuksia koskevissa neuvotteluissa. Komissio on myös kehittänyt testausmenetelmiä, joiden avulla voidaan valvoa laitevalmistajien ja laitetoimittajien laadunvalvontaa ja näin ollen välttää kokemattomille asiakkaille huonolaatuisten tuotteiden myyminen.¹²⁷ Kansainvälisiä konferensseja on järjestetty seuraavasti:

- 1st International Conference on Geotechnical Applications of GPR, 1986 - Tifton, Georgia USA
- 2nd International Symposium on Geotechnical Applications of GPR: 1988 - Gainesville, Florida USA
- The 3rd International Conference on GPR: GPR '90 - Lakewood, Colorado USA
- The 4th International Conference on GPR: GPR '92 - Rovaniemi, Finland
- The 5th International Conference on GPR: GPR '94 - Kitchener, Ontario Canada
- The 6th International Conference on GPR: GPR '96 - Sendai, Japan
- The 7th International Conference on GPR: GPR '98 - Lawrence, Kansas, USA
- The 8th International Conference on GPR: GPR 2000 - Gold Coast, Australia
- The 9th International Conference on GPR: GPR 2002 - Santa Barbara, California, USA
- The 10th International Conference on GPR: GPR 2004 - Delft, the Netherlands
- The 11th International Conference on GPR: GPR 2006 - Columbus, Ohio, USA
- The 12th International Conference on GPR: GPR 2008 - Birmingham, UK
- The 13th International Conference on GPR: GPR 2010 - Lecce, Italy

¹²⁶ Maatutkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaseminaari, Maijala P. Johdanto maatutkamenetelmän historiaan, fysikaalisiin perusteisiin ja sovelluksiin, s. 6

¹²⁷ Maatutkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaseminaari, Maijala P. Johdanto maatutkamenetelmän historiaan, fysikaalisiin perusteisiin ja sovelluksiin, s. 6

Lisäksi Euroopassa on olemassa oma alan järjestö Euro GPR, joka perustettiin vuonna 1997. Euro GPR:n tehtävänä on valvoa maatutkan eurooppalaista lisensiointia sekä kehittää maatutkaa koskevia standardeja ja järjestää koulutuksia.¹²⁸

Ficora on laatimassa maakohtaista lisensiointisäännöstöä maatutkan käytöstä Suomessa ECC/ETSI päätösten pohjalta. Säännöstössä määritellään mm. suoja-alueet, niiden laajuus, tutkien suurimmat sallitut emissiotasot ja käyttömaksut.

2.9 Maatutkamittauksia Suomessa

Suomessa maatutkamittauksia suorittavia yrityksiä ja yhteisöjä ovat esimerkiksi:

- Geo-Work Oy (www.geo-work.com)
- Roadscanners Oy (www.roadscanners.com)
- Destia (www.destia.fi)
- Aalto yliopiston Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos (<http://civil.tkk.fi/>)
- Suomen Malmi Oy (www.smoy.fi)
- GTK (www.gtk.fi)
- Oulun yliopisto (www.oulu.fi/yliopisto/)
- Saimaan ammattikorkeakoulu (www.saimia.fi)
- Helsingin kaupunki (www.helsinki.fi)
- Road Consulting Oy (www.roadconsulting.fi)
- Kemijoki Aquatic Technology Oy (www.kat.fi)
- Astrock Oy (www.astrock.com)
- Carement Oy (www.carement.fi)
- Andament Oy (www.andament.fi)
- Itä-Suomen yliopisto (www.uef.fi)

Maatutkia myyviä yrityksiä ovat esimerkiksi:

- Helsingin Laatulaitte Oy (www.helsinginlaatulaitte.fi)
- Malå Geoscience (www.malags.com)
- Sensors & Software Inc. (www.sensoft.ca)
- Geophysical Survey Systems, Inc. (www.geophysical.com)
- Pipe Hawk (www.pipehawk.com)

2.10 Betonitutka

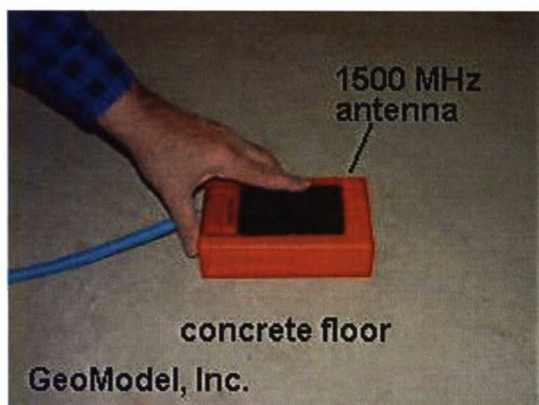
Maatutkan yksi sovellus on betonitutka. Betonitutkalla pystytään tekemään betonin laatututkimuksia, betonin kosteusmittauksia, betoniraudoitustutkimuksia sekä paikantamaan onkaloita ja rakoja betonirakenteista. Betoniraudoitteet ja muut metalliset esineet tulevat erityisen selvästi esiin tutkakuvassa, koska ne ovat johteita ja heijastavat tehokkaasti tutkasignaalit vastaanottimeen.

Betonirakenteiden takana tai alla olevat eroosion vaikutuksesta syntyneet onkalot saattavat aiheuttaa vaurioita rakenteissa. Betonitutkan avulla voidaan nämä onkalot havaita varhaisessa vaiheessa, ennen kun ne ovat vahingoittaneet rakenteita.

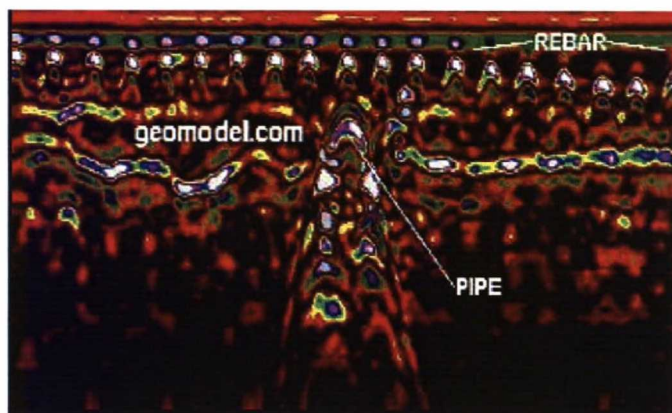
¹²⁸ <http://www.eurogpr.org/aboutus.htm>, 10.5.2010

Betonitutkan avulla pystytään havaitsemaan pienetkin onkalot.¹²⁹ Onkaloiden havaitsemiseen vaikuttaa niiden muoto ja koko sekä se, onko onkalo ilmaa vai vettä täynnä. Kuution malliset onkalot on helpompi tunnistaa kuin pyöreät, ja vettä täynnä olevat onkalot tunnistetaan helpommin kuin ilmatäytteiset onkalot.¹³⁰

Betonitutkan avulla pystytään myös mittaamaan betonirakenteiden paksuuksia. Tutkimukset ovat nopeita ja niistä saadaan tietoa lähes heti käyttöön. 3D-tutkalla saadaan tieto hyvin lyhyessä ajassa hyvin käytettävään muotoon. 3D-kuvan avulla pystytään nopeasti näkemään samassa kohdassa olevat johdot, raudat ja putket ja niiden sijainti korkeussuunnassa. Myös toisiaan risteävät kohteet saadaan näkyviin 3D-tutkan avulla.¹³¹ Kuva 14 tutkitaan betonitutkalla lattiaa ja Kuva 15 nähdään tutkimuksen tulos eli betoniraudoitteet ja lattian sisällä sijaitseva putki.



Kuva 14 Betonitutkan käyttöä (lähde: <http://www.geomodel.com/concrete/>)



Kuva 15 Betonitutkalla havaitaan betoniraudoitteet (rebar) ja putki (pipe) (lähde: <http://www.geomodel.com/concrete/>)

¹²⁹ Annan A.P., Ground Penetrating Radar; Principles, Procedures & Applications, s. 259

¹³⁰ Daniels D.J., Ground Penetrating Radar, s. 403

¹³¹ Annan A.P., Ground Penetrating Radar; Principles, Procedures & Applications, s. 275

3 Korjausrakentaminen

3.1 Yleisesti

Korjausrakentaminen on termi toimille, jotka tapahtuvat rakennuksen käyttöaikana vain kerran tai muutamia kertoja, ja jotka muuttavat rakennuksen ominaisuuksia haluttuun suuntaan. Korjausrakentaminen voidaan jakaa sen mukaan mihin korjaustoimenpiteillä pyritään. Kuluneisuutta ja vikoja poistettaessa käytetään nimitystä kunnostaminen. Kun tarkoituksena on parantaa rakennuksen soveltuvuutta tarkoitukseensa, puhutaan perusparannuksesta. Jos taas halutaan säilyttää tai palauttaa kohteen kulttuurihistorialliset ja rakennustaiteelliset arvot, on kyseessä entistäminen eli restaurointi.¹³²

Korjausrakentamisen päätavoite on ”pyrkimys kunnostaa rakennus vastaamaan käyttäjän vaatimuksia minimoimalla muutokset ja muutosesitykset”¹³³.

Korjaustarpeen selvittämiseksi tehdään rakennukselle kuntotarkastus. Kuntotarkastuksessa käydään rakennus läpi osa kerrallaan ja löydettyistä havainnoista kirjoitetaan raportti, jossa annetaan myös toimenpide-ehdotuksia tarpeellisista korjauksista.

3.2 Maatutkan hyödyntäminen korjausrakentamisessa

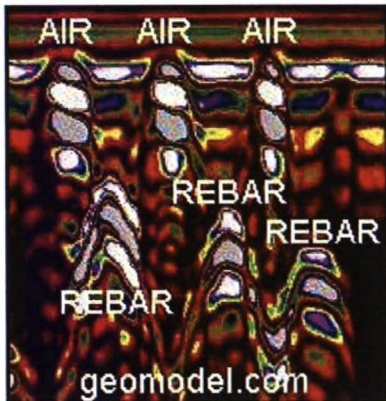
Maatutkaa ja betonitutkaa voidaan hyödyntää korjausrakentamisessa piha-alueen putkien ja rakenteiden paikantamisessa sekä betonirakenteiden tutkimisessa. Vanhoissa rakennuksissa ei putket, johdot ja viemärit sijaitse välttämättä piirustuksissa merkityillä paikoilla tai piirustukset ovat saattaneet hävitä. Betonin sisällä sijaitsevien putkien ja johtojen paikat voidaan määrittää käyttämällä betonitutkaa. Betonitutkalla voidaan tutkia myös betonirakenteiden ominaisuuksia, kuten raudoitusten sijaintia ja betonin kosteutta. Kuva 16 on esimerkki korjausrakentamisessa tutkittavasta seinärakenteesta ja Kuva 17 näkyy mittauksissa seinästä löytyneet betoniraudoitteet sekä ilmatäytteiset onkalot. Kuva 18 on esimerkki kohteesta, jossa on etsitty putkia maatutkan avulla ja Kuva 19 näistä mittaustuloksista on tehty 3D-kuva.

¹³² RIL 174-1, Korjausrakentaminen 1, yleiset perusteet, s.78

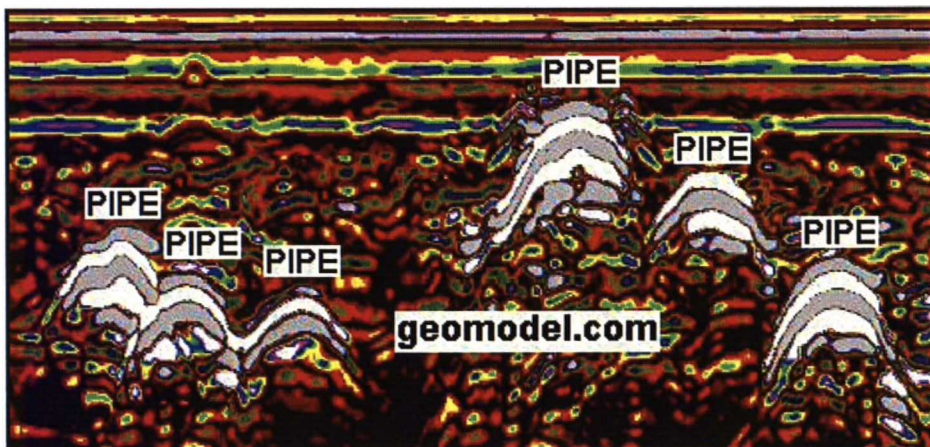
¹³³ RIL 174-1, Korjausrakentaminen 1, yleiset perusteet, s.89



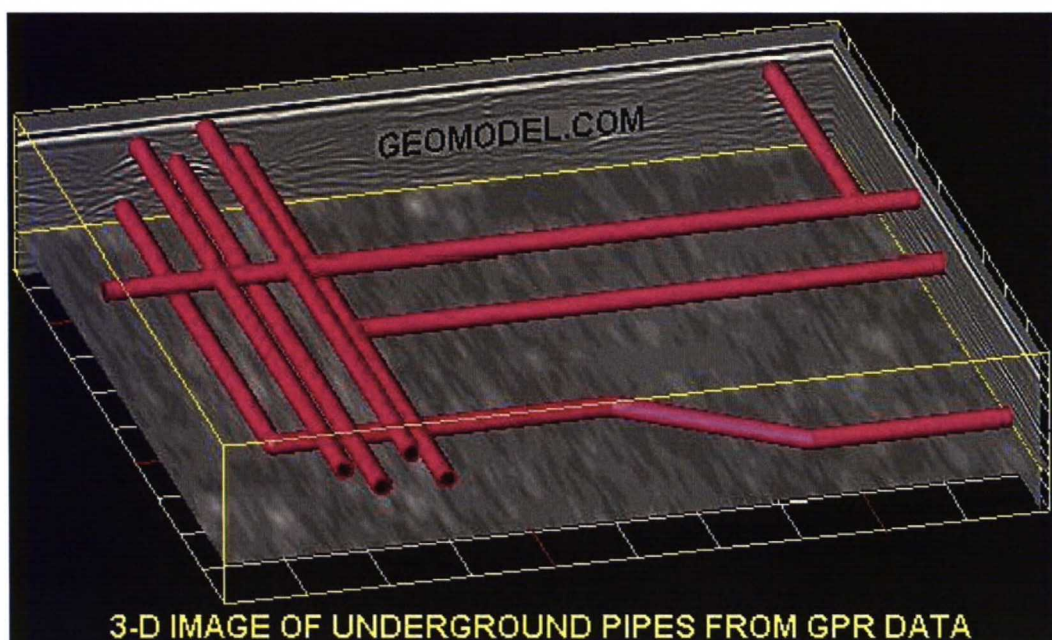
Kuva 16 Harkkoseinä, josta tutkitaan raudoitteiden sijaintia sekä onkaloita (lähde: <http://www.geomodel.com/concrete/>)



Kuva 17 Tutkakuvassa näkyy betoniraidotteet ja ilmatäytteiset onkalot (lähde: <http://www.geomodel.com/concrete/>)



Kuva 18 Putket tutkakuvassa (<http://www.geomodel.com/utilitylocation/>)



Kuva 19 3D-kuva GPR:llä paikannetuista putkista (<http://www.geomodel.com/utilitylocation/>)

4 Perustukset ja alapohjarakenteet

4.1 Pohjarakenteiden ja perustusten suunnittelu

Pohjarakennesuunnitteluun kuuluvat geotekninen suunnittelu sekä pohjarakenteiden rakennesuunnittelu. Geoteknisessä suunnittelussa selvitetään rakenteiden geotekninen toiminta ja mitoitus liittyen muuhun rakennesuunnitteluun. Lisäksi selvitetään riittävän yksityiskohtaisesti menetelmät, joilla suunniteltu tulos saavutetaan.¹³⁴

Pohjarakennesuunnittelussa otetaan huomioon ilmasto, maaperä, pohja-, pinta- ja avovedet sekä lähellä olevien rakennusten ja rakenteiden perustukset ja muut pohjarakenteet. Myös tulevaa rakentamista, kaivamista ja täyttämistä sekä mahdollisia pohjavedenpinnanmuutoksia tulisi ennakoida niin, että niiden vaikutukset otetaan huomioon ja ettei tulevaa rakentamista vaikeuteta tarpeettomasti.¹³⁵

Uuden rakennuksen, rakenteen tai tilan ulottuessa lähellä olevaa rakennusta tai rakennetta syvemmälle, tulee lähellä olevat rakennukset ja rakenteet vahvistaa ja suojata, ettei niitä vaurioiteta.¹³⁶

Perustuksia suunniteltaessa tulee ottaa huomioon painumaerojen aikaansaamat muodonmuutokset. Ne saattavat aiheuttaa rakenteisiin haitallisia jännityksiä.¹³⁷

Perustukset ja pohjarakenteet tulee suunnitella ja rakentaa kestäväksi ja toimimaan koko suunnitellun käyttöajan.¹³⁸

¹³⁴ Ympäristöministeriö, RakMK, B3 Pohjarakenteet, s. 13

¹³⁵ Ympäristöministeriö, RakMK, B3 Pohjarakenteet, s. 13

¹³⁶ Ympäristöministeriö, RakMK, B3 Pohjarakenteet, s. 13

¹³⁷ Ympäristöministeriö, RakMK, B3 Pohjarakenteet, s. 14

¹³⁸ Ympäristöministeriö, RakMK, B3 Pohjarakenteet, s. 15

4.2 Maapohja

Rakennusta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon rakennuspaikan maapohja. Ennen rakentamista tulee maapohjaan tehdä pohjatutkimus, jossa selvitetään maapohjan kantavuus ja geotekniset mitoitusarvot. Moreeni ja karkearakeiset maalajit ovat hyvin kantavia, ja niiden ollessa kyseessä voidaan rakennus yleensä perustaa maanvaraisesti. Pitää kuitenkin ottaa huomioon, että karkearakeiset maakerrokset saattavat sijaita hienorakeisten maalajien päällä, jolloin maanvarainen perustus on riskialtis.¹³⁹

Jos rakennuspaikka on hienorakeisten maalajien alueella, joudutaan yleensä perustamaan paaluille, koska maakerrokset painuvat kasaan pitkäaikaisen kuormituksen vaikutuksesta.¹⁴⁰

Eloperäiset maalajit tulisi aina poistaa rakennusalueelta, koska ne puristuvat kokoon ja viruvat kuormituksen vaikutuksesta. Tämä aiheuttaa jatkuvaa, hidasta painumista.¹⁴¹

Kalliolle perustettaessa tulee selvittää kallion laatu rakoilun ja kivilaadun perusteella. Heikkousvyöhykkeen tai rakoilun ollessa pohjarakenteiden kannalta epäedullinen, tulee sen vaikutukset selvittää ja tarvittaessa lujittaa kalliota. Kallion tai rakotäytteen ollessa täysin rapautunut, saattaa sillä olla paisumisominaisuuksia, jonka vaikutukset on selvitettävä ennen rakentamista. Jos kallio on kaltevampi kuin 15° perustustasossa, tulee kallio louhia tasaiseksi tai porrastaa perustuksen alta. Kalliopinnan ollessa muodoltaan liukumisen estävä, voidaan tasoitus jättää tekemättä. Liukuminen voidaan estää myös kiinnittämällä perustukset tai pohjarakenne pulttaamalla kallioon.¹⁴²

Suomessa kallioperä kestää normaalisti rakoilleenakin perustamisen. Sedimenttikiviä on Suomessa vähemmän ja ne ovat kestävyydeltään heikompia, mutta kestävyys on kuitenkin yleensä riittävä rakennusten perustamiseen.¹⁴³

Perustettaessa rikkilouhitulle ja tiivistetylle kalliolle käsitellään pohjamaan kantavuutta samoin kuin jos kyseessä olisi erittäin kantava maapohja. Täysin rapautunutta kalliota käsitellään kuin tiivistä moreenia.¹⁴⁴

4.3 Perustukset

4.3.1 Yleistä

Perustuksilla on rakennuksissa viisi tärkeää tehtävää.

1. Muodostaa tukeva alusta

Ensimmäinen tehtävä on muodostaa tukeva alusta rakennuksen rungolle. Perustukset eivät saa liikkua epätasaisesti roudan tai maaperän liikkeiden vaikutuksesta, eivätkä olla niin heikot, että rakennus voisi vahingoittua.

Perustusten valinnassa vaikuttavat maaperän kantavuus ja käytettävä perustustyyppi. Hyvin kantavat kallio ja karkea hiekka ovat turvallisia ja tukevia

¹³⁹ Ympäristöministeriö, RakMK, B3 Pohjarakenteet, s. 15

¹⁴⁰ Ympäristöministeriö, RakMK, B3 Pohjarakenteet, s. 16

¹⁴¹ Ympäristöministeriö, RakMK, B3 Pohjarakenteet, s. 16

¹⁴² Ympäristöministeriö, RakMK, B3 Pohjarakenteet, s. 16

¹⁴³ Ympäristöministeriö, RakMK, B3 Pohjarakenteet, s. 16

¹⁴⁴ Ympäristöministeriö, RakMK, B3 Pohjarakenteet, s. 16

alustoja perustuksille. Tällaisille alustoille tehdään kiinteät perustukset. Savelle, savihiedalle tai muille hienorakeisille maalajeille perustettaessa voidaan perustuksia vahvistaa paaluttamalla. Paalutuksen ansiosta perustuksista tulee yhtä vakaat kuin liikkumattomalle maaperälle tehdyistä perustuksista. Tällainen perustusratkaisu on nimeltään tuettu perustus.¹⁴⁵

2. Pitää talo kuivana

Perustusten toinen tehtävä on rakennuksen kuivana pitäminen. Perustuksen ollessa kuiva välttyään seinien ja lattioiden kosteusongelmilta. Parhaiten rakennuksen kuivana pitäminen onnistuu, jos rakennus sijoitetaan kuivalle paikalle, kuten mäelle tai hiekkaharjulle. Savelle perustamista tulee välttää.

Perustukset tulee rakentaa mahdollisimman hyvin kosteutta kestävästä ja eristävästä materiaaleista, koska maassa on aina jonkun verran kosteutta. Kellarin perusmuuri joutuu eniten alttiiksi kosteudelle ollessaan maan sisällä.

Toinen tärkeä tekijä rakennuksen kuivanapidossa on salaoja- ja sadevesijärjestelmät. Salaojakerrokseen upotetut putket johtavat pois ylimääräisen kosteuden. Erityisen hyvin vettä johtavalle pohjalle rakennettaessa saattaa olla mahdollista jättää salaojajärjestelmä rakentamatta.¹⁴⁶

3. Pitää talo lämpimänä

Perustusten kolmas tehtävä on rakennuksen lämpimänä pitäminen. Rakennuksen ollessa lämmin pysyy myös kosteus poissa. Paras paikka eristykselle on pohjalaatan alla sekä perusmuurin ulkopuolella. Sisäpuolinen eristys ei toimi niin hyvin ja saattaa jopa aiheuttaa kosteusvaurioita.¹⁴⁷

4. Tasoittaa korkeuseroja

Neljäntenä tehtävänä on muodostaa kaunis alusta rakennukselle sekä tasoittaa maaperän korkeuseroja. Maaperä on harvoin tasainen, joten joudutaan valitsemaan joko maaperän muodon huomioonottava perustusten rakentaminen tai tasoittaa maaperä. Tavallisesti on tapana tasoittaa maa ja tästä johtuen joudutaan välillä tekemään ympäristöön huonosti soveltuvia ja suuria maatyttöjä.

Erilaiset perustukset vaikuttavat myös talon ulkonäköön. Vanhat kiviperusteiset rakennukset vaikuttavat arvokkaammilta kuin rakennukset joissa ei ole sokkelia.¹⁴⁸

5. Estää radonin pääseminen taloon

Skandinaviassa joudutaan rakentamisessa ottamaan huomioon joillain alueilla maaperässä oleva syöpää aiheuttava radonkaasu. Oikealla perustamistavalla voidaan estää radonin pääsy rakennuksen sisään. Radonin kulkua estetään sekä tiivistämisellä että tuuletuksella.

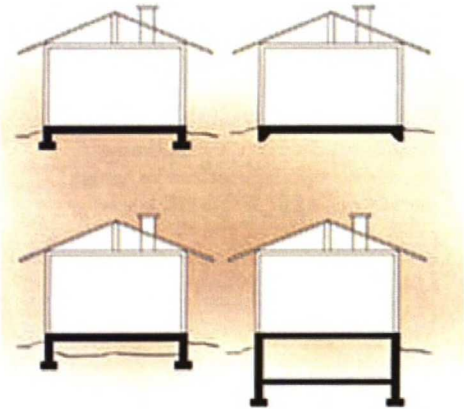
¹⁴⁵ Hemgeren P., Wannfors H., Pientalon käsikirja, s. 38

¹⁴⁶ Hemgeren P., Wannfors H., Pientalon käsikirja, s. 38

¹⁴⁷ Hemgeren P., Wannfors H., Pientalon käsikirja, s. 38

¹⁴⁸ Hemgeren P., Wannfors H., Pientalon käsikirja, s. 39

Perustuksen tiiviyyteen voidaan vaikuttaa valitsemalla parempi betonilaatu. Seinien ja alapohjan liitokset tulee myös tiivistää tarkasti. Tuuletuksen voi järjestää joko maaperään tai rakennukseen. Maaperää tuuletettaessa rakennuksen viereen ja alle asennetaan tuuletusputket maan sisään. Putket liitetään tuulettimeen joka kuljettaa radonin pois katon kautta poistohormia pitkin. Maaperän tuuletuksen kanssa pitää olla varovainen, koska liiallisella tuuletuksella voidaan saada aikaiseksi routavaurioita sekä tuhlataan energiaa.¹⁴⁹



Kuva 20 Eri perustamistavat. Ylhäällä vasemmalta maanvarainen laatta, oikealla reunavahvistettu laatta. Alhaalla vasemmalla tuulettuva alapohja ja oikealla kellarillinen perustus. (lähde: <http://www.rakentaja.fi/index.asp?s=/suorakanava/verkkolehti/03/3803perustus.htm>)

Perustusten tehtävänä on siirtää rakennuksen paino perustamistasolle, muodostaen tukevan alustan talon rungolle. Perustukset estävät epätasaisista painumista johtuvat ongelmat rakenteissa. Perustusten tehtävänä on myös suojata rakennusta ja rakenteita maan kosteutta ja pohjavesien vaikutusta sekä maapohjan routimista vastaan.^{150,151}

Perustamistapoja on monia. Kuva 20 näytetään neljä eri tapaa perustaa pientalo. Perustukset voidaan jaotella myös seuraaviin ryhmiin riippuen perustuksen alla olevasta maalajista:

- kalliolle perustaminen
- maapohjalle perustaminen
- arinalle perustaminen
- paaluille perustaminen

Kalliolle perustettaessa riittää yleensä että perustuksille tehdään tasainen ja vaakasuora alusta, joka estää perustuksen vaakasuoran liikkumisen. Kallioperustukset voivat olla joko perusmuuriperustuksia tai peruspilariperustuksia. Perustukset siirtävät rakennuksen painon suoraan kallion varaan.¹⁵²

¹⁴⁹ Hemgeren P., Wannfors H., Pientalon käsikirja, s. 39

¹⁵⁰ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 286

¹⁵¹ Hemgeren P., Wannfors H., Pientalon käsikirja, s. 38

¹⁵² Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 286

Maapohjalle tehdyt perustukset voivat olla anturaperustuksia, perusmuuri-, peruspilari- tai peruslaattaperustuksia. Rakennuksen paino jakaantuu anturan välityksellä maahan. Anturan kokoa muuttamalla voidaan maahan kohdistuvaa rasi- tusta säädellä. Perustusten geoteknisellä mitoituksella tarkoitetaan esimerkiksi maan kantavuuden mukaan valitun anturoiden koon käyttämistä. Heikosti kantavalla perusmaalla voidaan kantavana anturana käyttää rengaspalkilla vahvistettua laattaa. Tällöin anturan pinta-ala tulee rakennuksen pohjan kokoiseksi ja heikostikin kantava maa pystyy kantamaan rakennuksen painon. Hyvin kantavilla mailla voidaan rakennuksen kuormat siirtää pienikokoisille anturoille. Tällöin voidaan rakennuksen kantavaksi rakenteeksi valita pilarirunko. Pilarirungossa on yleensä pilareita harvassa. Pilareiden alapäässä olevat pilarianturat maksavat paljon jos niiden kokoa joudutaan kasvattamaan. Tästä syystä pilarianturoille perustettaessa tulee maan olla hyvin kantavaa. Perusmaan ollessa vähemmän kantavaa voidaan perustukset tehdä perusmuurilla. Perusmuuri on seinämäinen ratkaisu ja seinän alle anturapinta-alan lisääminen on helpompaa kuin pilareiden alle.¹⁵³

Arina tarkoittaa perustusten alle tehtyä kerrosta, joka jakaa rakennuksen painon luonnonmaan varaan halutulle pinta-alalle, jolloin heikostikin kantava maan kestää rakennuksen painon. Arinalle tehdyt perustukset voivat olla sora-, puu- tai kivi- arinoja. Arinan etuna on halvat perustamiskustannukset, mutta heikkoutena sen herkkyy- s epätasaisille ja suurille painumille.¹⁵⁴

Paaluille tehdyt perustukset voivat olla joko tukipaaluperustuksia tai kitka- tai koheesiopaaluperustuksia. Paaluille perustettaessa rakennuksen paino välittyy maahan paalujen vaipan tai pään välityksellä. Paaluperustusten avulla rakennuksen paino siirretään syvemmällä olevan riittävästä kantavan maakerroksen varaan ja varsinaiset perustukset tehdään ilman suuria kaivantoja luonnolliseen perustamistasoon paalujen yläpäiden varaan.¹⁵⁵

Anturaperustuksen syvyys tulee olla vähintään 0,5 m viereisestä maanpinnasta mitattuna. Perusmuurianturan leveys tulee olla vähintään 0,3 m ja pilarianturan vähimmäiskoko on 0,4 x 0,4 m². Anturaperustuksen paksuus on niin suuri että sitä voidaan pitää kantavaan maapohjaan nähden jäykkänä.¹⁵⁶

4.4 Ongelmat perustuksissa

Monissa 1960-, 1970- ja 1980-luvun taloissa on maanvarainen laatta tehty virheellisesti ja tästä johtuen rakennuksissa esiintyy ongelmia maakosteuden kanssa. Ongelmat perustuksissa ovat erittäin hankalia ja kalliita korjata jälkikäteen.¹⁵⁷

¹⁵³ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 287

¹⁵⁴ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 288

¹⁵⁵ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 289

¹⁵⁶ Ympäristöministeriö, RakMK, B3 Pohjarakenteet, s.17

¹⁵⁷ Hemgeren P., Wannfors H., Pientalon käsikirja, s. 39

5 Salaoja- ja sadevesijärjestelmät

5.1 Yleistä

Salaojitus tehdään rakennuspohjan veden kapillaarivirtausten katkaisemiseksi ja pohjaveden pinnan pitämiseksi tarpeeksi kaukana lattiasta tai ryömintätilan maanpinnasta sekä maahan imeytyvien pintavesien johtamiseksi pois perustusten läheisyydestä ja rakennuksen alta. Salaojajärjestelmään ei saa johtaa pintavesiä tai katoilta alas valuvia vesiä. Salaojitus voidaan jättää tekemättä, jos perusmaan vedenläpäisykyky todetaan olevan riittävän hyvä eikä pohjavesi ole liian korkealla.¹⁵⁸

Kosteus on vettä eri muodoissaan. Maaperässä on neljänlaista kosteutta, joilta perustukset täytyy suojata: pohjavesi, vajovesi, vesihöyry ja kapillaarinen vesi¹⁵⁹. Myös rakennuksen sisällä on kosteuslähteitä esimerkiksi huoneilman kosteus, rakenteiden sisäinen kosteus sekä käyttövedet¹⁶⁰.

Vesi liikkuu maan huokostilassa maan vetovoimasta alaspäin tai kapillaarisuuden vaikutuksesta ylöspäin. Vedenläpäisevyydellä tarkoitetaan veden virtaamista maaperässä. Vedenvirtaamisnopeus ilmoitetaan yksiköllä metriä sekunnissa [m/s]. Vedenläpäisevyyteen vaikuttaa raekoon lisäksi maan tiiviysaste. Taulukko 2 esittää eri maalajien vedenläpäisevyydet ja kuivumisalueet. Kuivumisalueella tarkoitetaan salaojaputken ympärille muodostuvaa aluetta.¹⁶¹

Taulukko 2 Maalajien likimääräinen vedenläpäisevyys ja kuivumisalue¹⁶²

Maalaji	Vedenläpäisevyys [m/s]	Kuivumisalue [m]	Huomautuksia
Savi	$10^{-9} \dots 10^{-11}$	<0,5	Käytännöllisesti katsoen vettä läpäisemätön
Hiesu	$10^{-6} \dots 10^{-7}$	<0,5	Huonosti läpäisevä
Hieta	$10^{-4} \dots 10^{-6}$	0,5...2,0	Huonosti läpäisevä
Hiekka	$10^{-3} \dots 10^{-4}$	2,0...30	Hyvin läpäisevä
Sora	$10^{-2} \dots 10^{-3}$	2,0...30	Hyvin läpäisevä
Karkea hiekka	$>10^{-2}$	>30	Erittäin hyvin vettä läpäisevä

Rakennuspaikka on järjestettävä siten, etteivät sade- tai pintavedet tai maassa olevat vedet aiheuta vahinkoa rakenteille eivätkä rakennuksen käytölle.¹⁶³

Salaojajärjestelmän avulla johdetaan vapaa vesi pois ja kapillaarisesti imeytyvän veden pääsy perustuksiin estetään kapillaarin katkaisevilla materiaaleilla. Koska talon sisälämpötila on korkeampi kuin maaperän lämpötila, ei maaperän vesihöyry pääse

¹⁵⁸ RakMK C2 Kosteus, s. 5

¹⁵⁹ Hemgeren P., Wannfors H., Pientalon käsikirja, s. 42

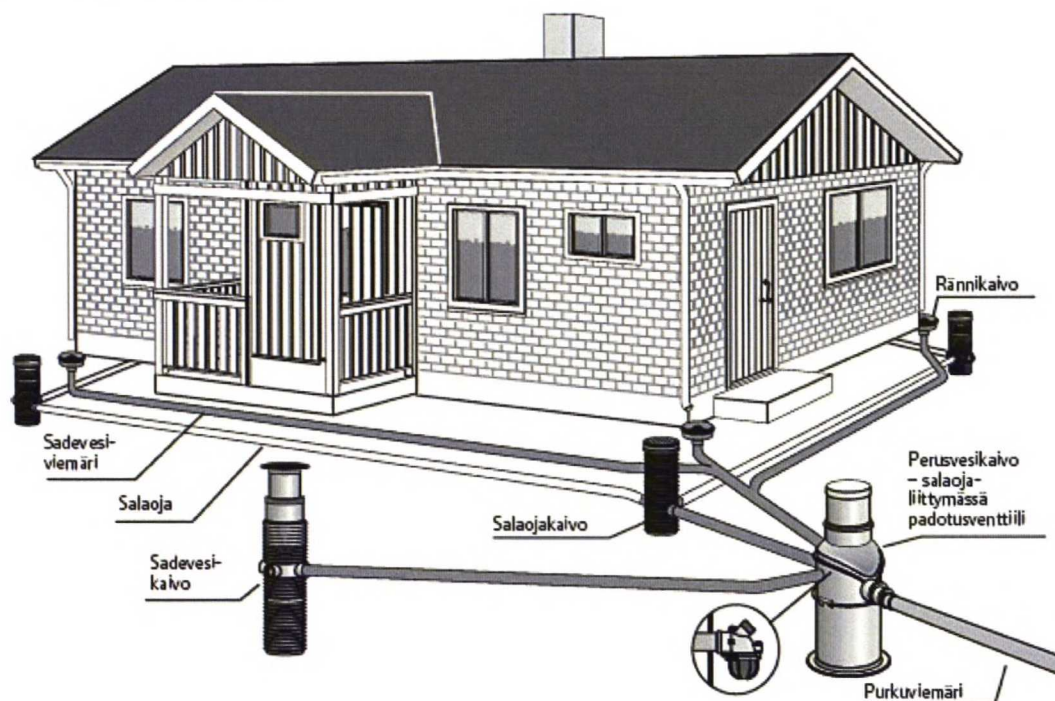
¹⁶⁰ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 273

¹⁶¹ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 274

¹⁶² Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 274

¹⁶³ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 273

tunkeutumaan kellarin perustuksiin tai maanvaraiseen lattiaan.¹⁶⁴ Rakennuksen sade-, pinta- ja pohjavesien poisjohtamista varten tehdään oma suunnitelma¹⁶⁵. Kuva 21 näytetään salaoja- ja sadevesijärjestelmien sijainti rakennuksen ympärillä. Hyvä salaojitus suojaa rakennusta kosteusvaurioilta¹⁶⁶. Rakennuspaikka pidetään kuivana rakenteiden alla ja vierustalla käytettävien hyvin vettä läpäisevien täyttökerrosten avulla¹⁶⁷.



Kuva 21 Rakennuksen salaoja- ja sadevesijärjestelmät (lähde: Uponor, Salaojien ja sadevesijärjestelmien asentaminen, s.2)

5.2 Kapillaariveden nousun estäminen

Kapillaarisen veden nousu voidaan estää joko käyttämällä muovista eristyskalvoa tai karkearakeisella täyttökerroksella, jonka huokoskoko on mahdollisimman iso. Karkearakeisella sorakerroksella voidaan estää kapillaarisen veden nousu. Kerroksen paksuudeksi riittää 0,3 metriä. Täyttökerros toimii samalla rakenteiden alapuolisena salaojituserroksena.¹⁶⁸

Maaperän kanssa kosketuksissa oleva betoniperustus ei koskaan kuivu, koska siihen siirtyy jatkuvasti kosteutta maaperästä. Maaperän kosteus imeytyy betoniin kapillaarisesti. Kapillaarisen kosteuden kulkeutuminen pitää estää jollakin tavalla. Sopivia keinoja ovat täyttökerros ja solumuoviset eristelevyt. Parhaiten tähän sopii

¹⁶⁴ Hemgeren P., Wannfors H., Pientalon käsikirja, s. 42

¹⁶⁵ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 273

¹⁶⁶ Hemgeren P., Wannfors H., Pientalon käsikirja, s. 42

¹⁶⁷ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 274

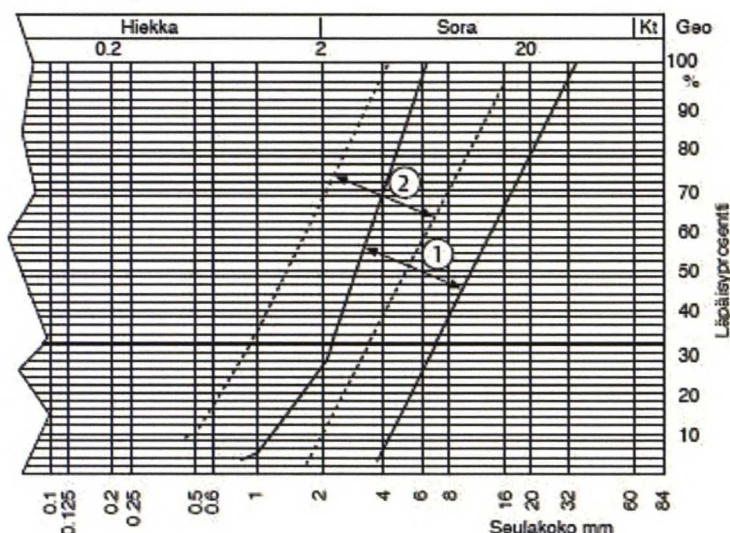
¹⁶⁸ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 275

solumuoviset eristelevyt, jotka toimivat samalla lämmöneristeenä ja edesauttavat maan pysymistä kuivana ja lämpimänä.¹⁶⁹

Jos maaperä on erittäin kostea ja pohjavesi on lähellä maanpintaa, joudutaan kapillaariveden nousu katkaisemaan muovikalvolla. Erittäin pehmeiden ja märkien maapohjien kohdalla joudutaan sorastuksen alle tekemään perusmaan ja kantavan kerroksen väliin sitova hiekkakerros, joka on samalla suodatinkerros.¹⁷⁰

Salaojituseros on vähintään 250 mm, mieluummin 300 mm, ja koostuu karkearakeisesta aineksesta, jonka raekoko vaihtelee välillä 2-20 mm. Kerros ohjaa veden salaojiin ja tämän takia sen tulee olla kalteva suhteessa 1:100. Anturan alapintaan tulee järjestää esimerkiksi 2 metrin välein 50x100 mm reiät veden läpimenoa varten. Salaojituseros saattaa olla liian karkea lattiaeristeiden alustaksi ja kerroksen päälle voidaan tehdä 50 mm paksu tasauseros esimerkiksi salaojahiekasta.¹⁷¹

Kuva 22 näkyy salaojatoran rakeisuuskäyrä. Alueelle 1 osuvaa salaojatoraa käytetään jos kuivaustarve alueella on erityisen suuri. Alueella 2 oleva salaojatora käy normaaliin kuivaustarpeeseen.



Kuva 22 Salaojatoran rakeisuus. Normaali salaojatoran rakeisuus on alueen 2 sisällä. Jos kuivaustarve on suuri, käytetään alueen 1 mukaista karkeampaa soraa (lähde: Uponor, Salaojien ja sadevesijärjestelmien asentaminen, s.3)

5.3 Salaojitusjärjestelmät

Salaojitusjärjestelmässä käytetään monia salaojituserroksia ja kapillaarisen nousun estäviä materiaaleja. Salaojitus alkaa periaatteessa jo maan pinnalta. Taloa ympäröivän maanpinnan tulee viettää talosta poispäin kolmen metrin etäisyydelle asti. Jos maaperän kosteuden kanssa on ongelmia, ei talon vierustalle voida laittaa kukkapenkkejä joihin kaadetaan paljon kasteluvettä. Myös syöksytorvien vesi tulisi johtaa parin metrin päähän talosta.¹⁷²

¹⁶⁹ Hemgeren P., Wannfors H., Pientalon käsikirja, s. 42

¹⁷⁰ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 279

¹⁷¹ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 279

¹⁷² Hemgeren P., Wannfors H., Pientalon käsikirja, s. 42

Hyvä vedenläpäisevyys saadaan aikaan tasarakeisilla maalajeilla¹⁷³. Raekoon on myös oltava riittävän suuri¹⁷⁴. Salaojituserroksen huokosten täyttyminen maalajien hienoaineella estetään käyttämällä suodatinkangasta tai suodatinhiekkaa luonnollista maata vasten¹⁷⁵. Kangasta on käytettävä aina, koska hienoaines tunkeutuu muuten ajan mittaan valutuserroksiin ja heikentää salaojien toimintaa¹⁷⁶.

Rakennuksen salaojituksen avulla voidaan laskea pohjaveden pintaa rakennuksen kohdalta rakenteiden alapuolelle, ohjata vajovesi pois rakennuksen vierustoilta ja estää maasta nousevan kapillaarisen veden tulo.¹⁷⁷

5.4 Salaojaputket ja -kaivot

Salaojajärjestelmä voidaan tehdä kahdella periaatteella:

- Muovisista salaoja- ja tarkistusputkista sekä niihin sopivista yhteistä ja liitoskappaleista
- Muovisista salaojaputkista ja betonisia tarkastuskaivoja käyttäen¹⁷⁸

Muovisissa salaojaputkissa on vahvistusprofiloinnin välissä poikittaisrakoja, joiden kautta vesi ohjataan putkistoon. Vahvistusprofiili tukee putkea maan aiheuttamaa painetta vastaan. Tarkistuskaivot ja -putket ovat umpinaisia. Putket ja kaivot liitetään toisiinsa yhteiden, liitoskappaleiden ja suojakansien avulla. Salaojajärjestelmät tilataan yleensä samalta toimittajalta, koska eri järjestelmät eivät välttämättä sovi yhteen.¹⁷⁹

Salaojaputken minimikoko on 100 mm ja se määräytyy hoito- ja huoltonäkökohtien perusteella. Putken koko riittää normaaleissa olosuhteissa laajan rakennuspohjan salaojavesien johtamiseen.¹⁸⁰

Salaojaputket sijoitetaan vähintään 250 mm alimpien rakenteiden alapuolelle. Salaojien päälle tulee laittaa tasarakeista, 1-2 mm salaojahiekkaa, vähintään 150 mm sekä sivuille 50 mm. Voidaan myös käyttää georakentamiseen tarkoitettua salaojituskangasta, jonka avulla vedet johdetaan putkistoon.¹⁸¹

Salaojaputkien asennus aloitetaan yleensä laskun alapäästä. Ennen asennusta tasataan kaivannon pohja alushiekalla laskukaltevuuden mukaisesti. Aloitusputken pää suojataan, että roskat eivät pääse putkistoon. Putket painetaan asennusvaiheessa tiiviisti hiekkaan ja ne peitetään heti salaojahiekalla, jotta voidaan varmistua putkien paikalla pysymisestä. Putken selkälinjasta tarkastetaan samalla laskun suoruuks. Salaojien tarkastuskaivot sijoitetaan liittymä- ja nurkkakohtiin niin, että salaojat voidaan tarvittaessa huuhtoa puhtaaksi kaivojen avulla (Kuva 23).¹⁸²

¹⁷³ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 274

¹⁷⁴ Hemgeren P., Wannfors H., Pientalon käsikirja, s. 42

¹⁷⁵ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 274

¹⁷⁶ Hemgeren P., Wannfors H., Pientalon käsikirja, s. 43

¹⁷⁷ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 275

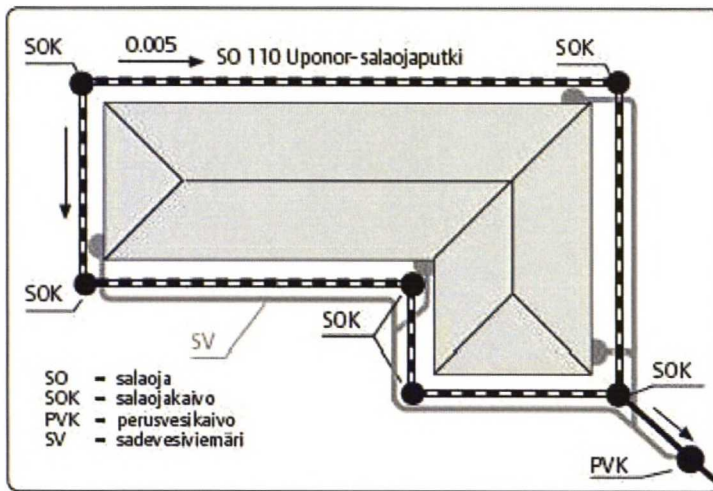
¹⁷⁸ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 275

¹⁷⁹ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 276

¹⁸⁰ RIL 126-2009, Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus, s. 31

¹⁸¹ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 276

¹⁸² Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 276



Kuva 23 Salaoja voidaan huoltaa kokonaisuudessaan, kun jokaisella nurkalla on kaivo (lähde: Uponor, Salaojien ja sadevesijärjestelmien asentaminen, s.4)

Salaojaputket liitetään kaivoihin niin, että kaivon pohjalle jää vähintään 200 mm syvyinen lietepesä. Kaivo peitetään muovikannella. Kaivo asennetaan sellaiseen korkoon, että kansi jää noin 0,15 m maanpinnan alapuolelle.¹⁸³

Toinen vaihtoehto kokonaan muoviselle salaojajärjestelmälle on rakentaa putket muovista ja kaivot betonista. Tällöin tarkastuskaivot ovat 300 - 400 mm halkaisijalta olevia betoniputkia, joihin piikataan reiät salaojaputkia varten. Tarkastuskaivon pohja valetaan betonista ja kaivoon jätetään noin 600 mm syvä lietepesä. Tarkastuskaivojen kansien tulee olla tiiviitä, jotta pintavedet eivät pääse kaivoon. Muuten salaojia pitkin voi pahimmassa tapauksessa kulkeutua pintavedet perustuksiin.¹⁸⁴

5.5 Vajo- ja pintavesien johtaminen

Vajovedet johdetaan salaojiin käyttäen rakennusta kiertävää sorasaartoa. Sorakerroksen tulee olla vettä johtaakseen hyvin vettä läpäisevää ja raekooltaan 2-5 mm. Sorakerros estää routavauriot perustuksissa, koska se estää maata jäätymästä seinään. Ulompi sorakerros johtaa vajovedet pois rakenteista.¹⁸⁵

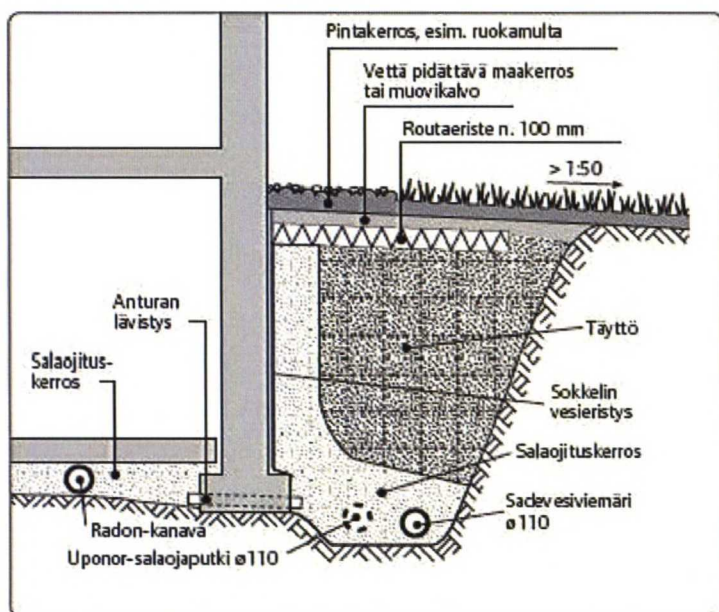
Pintavesien valuminen pitkin rakennuksen vierustaa estetään käyttämällä sorasaarron yläpäässä tiivistä savikerrosta ruokamullan alla. Lisäksi maan pinta tehdään kaltevaksi rakennuksesta poispäin. Kaltevuussuhteen tulee olla 1:50 ja se ulottuu vähintään 3 metrin päähän rakennuksesta.¹⁸⁶ Kuva 24 on esitetty perustuspoikkileikkaus, josta selviää salaojituskerroksen, salaoja- sekä sadevesiputkien paikat.

¹⁸³ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 276

¹⁸⁴ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 276

¹⁸⁵ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 279

¹⁸⁶ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 279



Kuva 24 Perustusleikkaus (lähde: Uponor, Salaojien ja sadevesijärjestelmien asentaminen, s.3)

Katoilta tulevia sadevesiä ei saa johtaa sadevesikaivoista salaojakaivoihin, koska vedet pääsevät salaojista salaojituskerroksen kautta rakennuksen perustuksiin. Umpinaisista sadevesikaivoista vedet johdetaan umpiputkella laskuojaan tai kunnalliseen sadevesiviemäriin. Muut valumavedet johdetaan maastoon haluttuun paikkaan niskaajia myöten.¹⁸⁷

Paikkakunnasta riippuu salaojavesien ja sadevesien mahdollinen johtaminen maastoon. Tästä määrätään paikkakunnan rakennusjärjestyksessä. Tarvittaessa voidaan myös sadevesille tehdä oma viemärijärjestelmänsä.¹⁸⁸

Salaojajärjestelmään kuuluu myös perusvesikaivo. Perusvesikaivolla tarkoitetaan salaojavesien kokoojakaivoa. Kokoojakaivo voidaan tehdä joko betonirenkaista, jotka ovat halkaisijaltaan vähintään 600 mm, tai käyttää valmista muovikaivoa. Betonirenkaiden uurreliitoksiin laitetaan bituminauhat kun ne liitetään yhteen. Salaojaputket liitetään kaivoon samoin kuten tarkastuskaivoihinkin.¹⁸⁹

Perusvesikaivossa on padotusventtiili, joka estää sadevesien pääsyn rakennukseen salojien kautta. Jos salaojat sijaitsevat alempana kuin kunnallinen sadevesiviemäriverkosto, joudutaan perusvedet pumppaamaan verkostoon.¹⁹⁰

Salaojavedet johdetaan perusvesikaivosta vesiviemäriin joko liitäntäputken tai -kaivon kautta, tai suoraan vesistöön purkuputken avulla. Kunnan rakennusjärjestys määrää sade- ja salaojavesien vesistöön johtamistavasta. Putkina ovat yleensä umpinaiset muoviputket liitettynä yhteen muhviliioksilla.¹⁹¹

¹⁸⁷ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 279

¹⁸⁸ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 279

¹⁸⁹ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 278

¹⁹⁰ http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kunnossapito_ja_korjaaminen/kuivatusjarjestelmat/salaojat/

¹⁹¹ Kyyrönen K., Talonrakennus 1, s. 278

5.6 Salaojajärjestelmän kunnossapito ja huolto

Rakennuksen kuivatussuunnittelijan tulee laatia erityinen käyttöohje ennen rakennuksen käyttöönottoa. Huolto-ohjeen tulee sisältää tieto määräaikaishuoltoon liittyvistä tehtävistä ja niiden suorittamistavat, ajantasaiset salaojapiirustukset sekä huoltoa varten tarvittavien työvälineiden kuvaus. Salaojajärjestelmän kunto pitää tarkistaa säännöllisesti. Seuraavat ohjeet ovat esimerkki ensimmäisten vuosien huoltoaikataulusta. Huoltoaikataulua voidaan kokemusten perusteella joko tihentää tai harventaa. Salaojakaivojen lietepesät tulee tarkastaa vähintään kerran vuodessa. Tarpeen vaatiessa kaivot tyhjennetään. Tarkastuksen yhteydessä tarkastetaan onko putkiin saostunut lietettä ja tarvittaessa putkisto huuhdellaan vesisuihkulla. Jos salaojajärjestelmän vedet purkaantuvat maastoon tarkastetaan laskuaukon ja purkuaukon kunto aina keväisin. Jos ojaan on kertynyt lietettä, pitää oja kaivaa alkuperäiseen syvyyteensä. Keväisen tarkastuksen yhteydessä tarkastetaan ja tarvittaessa huuhdellaan purkuviemäri. Salaojajärjestelmän tonttikaivon takaiskuventtiili avataan ja huolletaan vähintään kahden vuoden välein. Salaojien pumppaamo tarkistetaan vähintään kaksi kertaa vuodessa. Pumppujen huolto suoritetaan valmistajan ohjeiden mukaan.¹⁹²

5.7 Sadevesien johtaminen

Sade- ja sulamisvedet tulee johtaa pois rakennuksen viereltä. Välittömästi rakennusta ympäröivä maanpinta muotoillaan rakennuksesta poispäin viettäväksi. Maanpinnan vähimmäiskaltevuus kolmen metrin etäisyydellä rakennuksesta on 1:20 eli korkeuseroa pitää tulla vähintään 0,15 metriä. Sadevedet voidaan johtaa pois talon läheisyydestä sadevesiviemäreillä, ojittamalla tai muulla sopivalla tavalla.¹⁹³

Sade- ja sulamisvedet voidaan imeyttää maaperään jos voidaan osoittaa, että maaperä on tarpeeksi vettä läpäisevää materiaalia ja ettei rakennukselle tai naapuritontille aiheudu siitä haittaa.¹⁹⁴

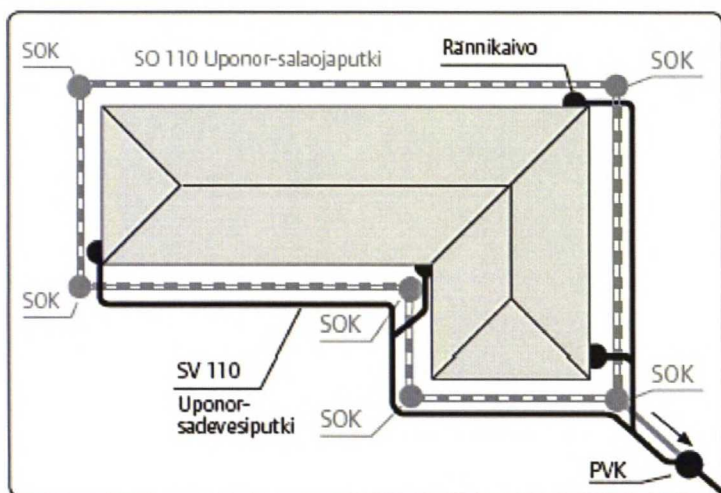
Sadevesiä ei saa johtaa salaojajärjestelmään, koska tällöin rankkasateella salaojat täyttyisivät ja alkaisivat työntää vettä talon perustuksiin. Samoin voisi käydä jos purkuputki tukkeutuisi tai jäätyisi.¹⁹⁵

¹⁹² RIL-126-2009, Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus, s. 91

¹⁹³ Ympäristöopas 51, Kosteus rakentamisessa, RakMK C2 opas, s.18

¹⁹⁴ Ympäristöopas 51, Kosteus rakentamisessa, RakMK C2 opas, s.19

¹⁹⁵ Uponor, Salaojien ja sadevesijärjestelmien asentaminen, s. 4



Kuva 25 Sadevesijärjestelmä (lähde: Uponor Salaojien ja sadevesijärjestelmien asentaminen)

Kuva 25 näkyy sadevesijärjestelmän ja salaojajärjestelmän sijainnit. Salaojat ja sadevesiviemärit asennetaan normaalisti vierekkäin ja samaan kaltevuuteen. Perusmuurin ollessa korkea ja salaojan sijaitessa syvällä, voidaan sadevesiviemäri sijoittaa ylemmäksi. Painumien ehkäisemiseksi tulee täyttömaa putken alla tiivistää erityisen huolellisesti.¹⁹⁶

Sadevesiviemäri asennetaan tasatulle tiiviille hiekka-alustalle, joka on paksuudeltaan 5-10 cm. Myös salaojasora soveltuu sadevesiviemäriin ympäristäyttyihin. Rakennuksen syöksytorvien paikat määritellään jo suunnitteluvaiheessa, että sadevesikaivot ja rännikaivot voidaan sijoittaa oikeaan paikkaan. Rännikaivon kautta katolta valuvat sade- ja sulamisvedet johdetaan putkistoon. Sadevesiputkisto huolletaan rännikaivon kautta.¹⁹⁷

Sadevedet johdetaan omaa putkistoaan pitkin pihan perusvesikaivoon, johon myös salaojavedet laskevat. Perusvesikaivosta molemmat vedet johdetaan joko kunnan sadevesiviemäriin tai avo-ojaan. Vaihtoehtoisesti voidaan vedet myös imeyttää maahan kivipesän kautta.¹⁹⁸

6 Kuntotarkastus

6.1 Kuntotarkastus yleisesti

Kuntotarkastuksen suorittamisesta on laadittu kaksi Rakennustiedon ohjekorttia, LVI 01-10413, KH 90-00393 Kuntotarkastus asuntokaupan yhteydessä, Tilaaajan ohje ja LVI 01-10414, KH 90-00394 Kuntotarkastus asuntokaupan yhteydessä, Suoritusohje. AKK-tutkintolautakunnan eettisten sääntöjen kanssa ohjekortit muodostavat hyvän tarkastustavan.

Seuraavassa referoidaan pääkohdittain kuntotarkastuksesta laadittuja ohjekortteja. Taulukko 3 selvittää erilaiset kunnon selvitysmenetelmät.

¹⁹⁶ Uponor, Salaojien ja sadevesijärjestelmien asentaminen, s. 5

¹⁹⁷ Uponor, Salaojien ja sadevesijärjestelmien asentaminen, s. 5

¹⁹⁸ Uponor, Salaojien ja sadevesijärjestelmien asentaminen, s. 7

Taulukko 3 Kiinteistön ja asunnon kunnon selvitysmenetelmiä (Lähde KH 90-00393, LVI 01-10413)

	Kohde	Tavoite	Menetelmät	Raportointi	Tekijä(t)
Kuntoarvio	Asuinkiinteistöt Liikekiinteistöt Toimistokiinteistöt Palvelukiinteistöt Teollisuuskiinteistöt	Kiinteistön tilojen, rakennusosien, taloteknisten järjestelmien ja ulkoalueiden kunnon selvittäminen.	Aistienvaraiset, kokemusperäiset sekä rakennetta rikkomattomat menetelmät. Käyttäjien haastattelut. Energiatalouden selvitys.	Määrämuotoinen kirjallinen raportti, johon liitetään kunnossapidon pitkän tähtäimen suunnitelma (PTS).	Työryhmä (rakennus- ja talotekniset asiantuntijat), esim. PKA.
Kuntotutkimus	Asuinkiinteistöt Liikekiinteistöt Toimistokiinteistöt Palvelukiinteistöt Teollisuuskiinteistöt	Yksittäisen rakennusosan, järjestelmän tai laitteen tarkempi tutkimus tavoitteena saada selville mahdollisen ongelman tai vaurion aiheuttaja.	Usein rakennetta rikkovia. Apuna käytetään mm. rakenteiden koetusta, näytteenottoa ja analysointia ja erilaisia mittauksia.	Kirjallinen raportti, johon liitetään toimenpide-ehdotus suunnitelman ja uusimisen tai korjaamisen lähtötiedoiksi.	Rakennus- ja talotekniset asiantuntijat, laboratoriot
Kuntotarkastus asuntokaupan yhteydessä	Omakotitalot Osakehuoneistot	Tuottaa puolueetonta tietoa asuntokaupan osapuolille rakennuksen rakennusteknisestä kunnosta, korjaustarpeista, vaurio-, käyttöturvallisuus- ja terveysriskeistä sekä toimenpide-ehdotuksista.	Pääosin aistienvaraiset, kokemusperäiset sekä rakennetta rikkomattomat menetelmät. Käyttäjien haastattelu. Sisältää koetustamittauksia ja vähäisiä rakenteiden avauksia.	Kirjallinen raportti (ei sisältä kunnossapidon pitkän tähtäimen suunnitelmaa).	Rakennustekninen asiantuntija, esim. AKK.
Kartoitus	Asuinkiinteistöt Liikekiinteistöt Toimistokiinteistöt Palvelukiinteistöt Teollisuuskiinteistöt	Yksittäisen ongelman tai vaurion syyn ja laajuuden selvittäminen.	Mittaukset mittalaitteilla, tarvittaessa laboratoriotutkimuksia.	Kirjallinen kartoitusraportti, jossa tarvittaessa piirustusliitteet ongelman esiintymisestä ja pitoisuuksista.	Kartoituksiin perehtyneet asiantuntijat, esim. PKM.

6.2 Kuntotarkastuksen tavoite

Kuntotarkastuksen tavoitteena on tuottaa puolueetonta tietoa tarkastettavasta kohteesta ennen asuntokauppaa. Kuntotarkastuksessa käydään läpi kohteesta sen rakennustekninen kunto, korjaustarpeet, vaurioriskit, käyttöturvallisuusriskit, terveysriskit sekä annetaan toimenpide-ehdotuksia.

6.3 Kuntotarkastuksesta sopiminen

Kuntotarkastuksen voi tilata myyjä tai myyjän suostumuksella myös joku muu osapuoli. Tilaajalla tulee olla tarvittavat valtuudet tarkastuksen tilaamiseen.

Kuntotarkastuksesta tehdään aina sopimus. Samoin sovitaan kuntotarkastuksen yhteydessä tehtävistä toimenpiteistä kirjallisesti etukäteen.

6.4 Tilaajan osallistuminen kuntotarkastukseen

Tilaajaa pyydetään hankkimaan kuntotarkastajan käyttöön tarvittavat asiakirjat. Kuntotarkastaja ja tilaaja sopivat alkuhaastattelun ja alustavan yhteenvedon pitämisestä. Kuntotarkastaja antaa myös tilaajalle toimintaohjeita tarkastusta varten.

Kuntotarkastaja tarvitsee käyttöönsä seuraavat asiakirjat: pääpiirustukset, pohjapiirustukset, rakennepiirustukset ja työselostukset, LVIS-piirustukset, lopputarkastuspöytäkirjat, huoltokirjat tai vastaavat, aiemmat kuntoarviot ja muut tarkastus- ja tutkimusraportit, vedeneristyspöytäkirja, selvitys kiinteistön jätevesijärjestelmästä, öljysäiliön tarkastuspöytäkirja, palotarkastusasiakirjat, energiatodistus sekä isännöitsijätodistus.

Kuntotarkastuksen alussa tai sitä ennen kuntotarkastaja selvittää tarkastuksen lähtötiedot alkuhaastattelun avulla. Alkuhaastattelussa tulee selvittää mm. seuraavat asiat: omistusaika, huolto-, vaurio- ja korjaushistoria, tiedossa olevat vauriot ja epäilykset niistä, tiedossa olevat tai suunnitellut korjaustoimenpiteet, käyttötottumukset, märkätilojen kosteuden- ja vedeneristeiden olemassaolo, poikkeavat hajuhavainnot,

tuhoeläimet ja -hyönteiset, talotekniset järjestelmät ja laitteet, jätevesikaivojen tyhjennykset, käyttöveden riittävyys ja laatu sekä savuhormien nuohoukset. Jos kyseessä on osakehuoneisto, haastatellaan myös kohteen isännöitsijää mahdollisuuksien mukaan.

Kuntotarkastaja antaa tilaajalle toimintaohjeita ennen tarkastusta. Tilaajan pitää tiedottaa kohteen asukkaita ohjeista. Toimintaohjeissa käydään läpi kohteen käyttöä koskevia rajoituksia ja vaatimuksia ennen tarkastusajankohtaa. Toimintaohjeet pitää toimittaa kirjallisesti. Kirjalliseksi toimintaohjeeksi käy ohjekortti LVI 01-10413, KH 90-00393 Tilaajan ohje. Tilaajan velvollisuutena on huolehtia, että kuntotarkastaja pääsee suorittamaan tarkastuksen esteettä.

Tarkastuksen jälkeen suoritetaan tarkastuksen alustava yhteenveto, jossa tarkastaja kertoo tilaajalle ja muille läsnä olleille henkilöille suullisesti osa-alueittain tarkastuksen aikana tehdyt havainnot ja havaintojen merkityksen. Materiaalien ja valokuvien tarkastelulla voidaan saada huomattavasti täydennyksiä sekä muutoksia johtopäätöksiin kirjallisessa raportissa. Alustavalla yhteenvedolla ei voida korvata kirjallista raporttia.

6.5 Kuntotarkastuksen valmistelu

Ennen kuntotarkastusta tarkastaja laatii tarkastussuunnitelman. Suunnitelmassa tarkennetaan tarkastuksen painopistealueet kohteen ominaispiirteiden sekä alkuhaastattelusta ja asiakirjoista saadun tiedon perusteella. Suunnitelmassa otetaan huomioon esimerkiksi kohteen ikä ja rakennustapa.

Kuntotarkastajan pitää toimittaa tilaajalle kirjalliset toimintaohjeet ennen tarkastusta

6.6 Kuntotarkastuksen sisältö

Kuntotarkastus on tekninen arvio tarkastettavasta kohteesta, sen kunnosta, korjaustarpeista ja riskirakenteista tarkastushetkellä. Tarkastus perustuu kuntotarkastajan asiantuntemuksellaan kohteesta tekemiin havaintoihin, piirustuksiin ja muihin asiakirjoihin sekä haastattelussa saatuihin tietoihin.

Kohde tarkastetaan aistinvaraisesti rakennetta rikkomattomilla menetelmillä näkyviltä osiltaan ohjekortin KH 90-00394, LVI 01-10413 Suoritusohje mukaisesti.

Taloteknisten järjestelmien kuntoa arvioidaan pääasiassa haastattelussa saatuu tietoon perustuen sekä näkyviltä osilta ja iän perusteella tehtyihin havaintoihin. Jos taloteknisistä järjestelmistä halutaan saada tarkempaa tietoa, tulee niitä varten suorittaa erillinen kuntotutkimus.

Jos kohteesta on aikaisemmin tehty kuntoarvio tai muita vastaavia tutkimuksia, tutustutaan näihin ennen tarkastuksen aloittamista.

Kuntotarkastuksen laajuus riippuu tarkastettavan kohteen luonteesta. Omakotitaloilla tarkastus on laajin ja siinä käydään läpi koko suoritusohjeen sisältö. Osakehuoneistoilla asunnon ulkopuolisessa tarkastelussa käydään läpi vain kyseisen huoneiston kohdalla olevia rakenteita. Kerrostalohuoneistossa tarkastetaan vain huoneisto sisäpuolelta.

Kohde tarkastetaan pintapuolisesti. Pintapuolisella tarkastelulla tarkoitetaan, että kohde tarkastetaan aistinvaraisesti sekä käyttäen kosteudentunnistinta ja muita mittalaitteita. Jos rakenteessa tehdään riskihavainto, kiinnitetään siihen erityistä huomiota ja pyritään

selvittämään rakenteen kunto tilanteeseen sopivin menetelmin. Lisätutkimukset ovat tarpeen jos rakenteen kunnosta ei saada varmuutta käytetyillä menetelmillä.

Kohteelle tyypilliset riskirakenteet arvioidaan aina kuntotarkastuksessa. Arvio mahdollisista piilevistä vaurioista ja lisätutkimustarpeista tehdään haastattelujen, rakennekuvien, havaintojen, kosteuskartoituksen tulosten, iän ja olosuhteiden perusteella.

Kuntotarkastuksessa kiinnitetään huomiota myös kohteen turvallisuuteen. Havaintoja tehdään mm. seuraavista turvallisuuteen vaikuttavista tekijöistä: julkisivun näkyvistä vaurioista, tikkaiden, lumiesteiden ja kattosiltojen asianmukaisuudesta ja kunnosta, luiskien, portaiden sekä kaiteiden asianmukaisuudesta ja kunnosta, hätäpoistumisteistä, yleisestä paloturvallisuudesta sekä sähkölaitteiden kunnosta.

Terveyshaittaa tuottavat riskit tarkastellaan aistinvaraisesti. Terveysteen liittyvissä havainnoissa on suositeltava aina lisätutkimuksia.

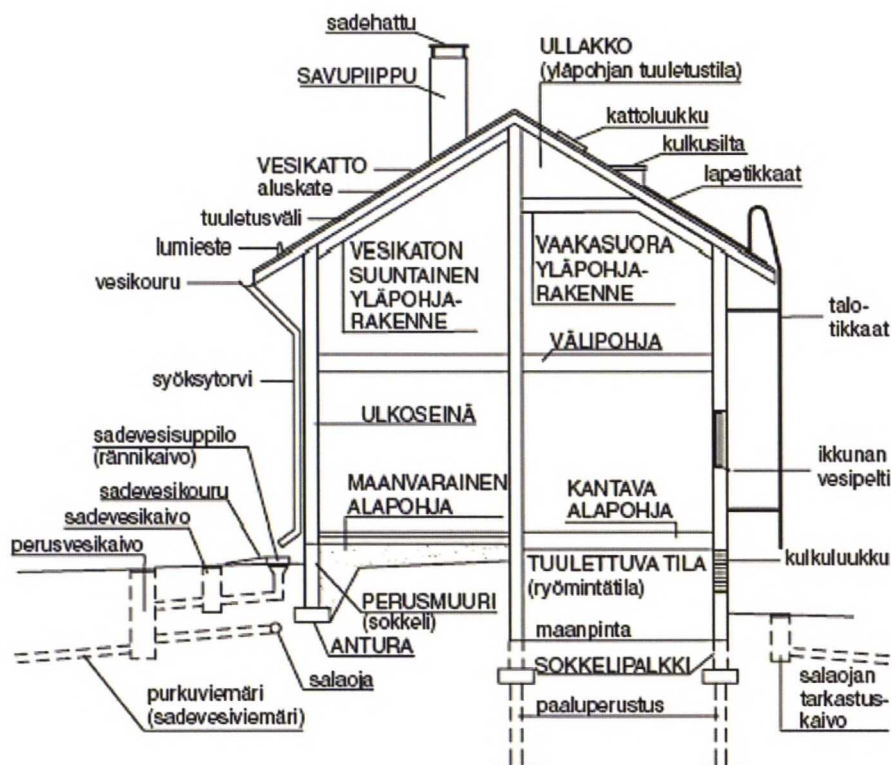
6.7 Kuntotarkastuksen laajuus

Kohde tarkastetaan ohjekortissa määritellyssä laajuudessa. Jos kaikkiin tarkastuskohteisiin ei päästä esimerkiksi tilan ollessa täynnä tavaraa, tulee siitä olla selvä merkintä kuntotarkastusraportissa. Raporttiin kirjataan tarkastamattomista tiloista tarkastamattomuuden syy, laajuus ja merkitys tarkastukselle.

Tarkastuksen yhteydessä arvioidaan rakennuksesta sen rakenteita ja riskejä myös piirustusten sekä muiden asiakirjojen avulla. Kuva 26 näyttää talon poikkileikkauksessa eri rakenteiden sijainnin.

Tarkastuksessa käydään läpi seuraavat asiat jotka liittyvät salaojajärjestelmiin ja pohjarakenteisiin:

- **Rakennusten vierusta, salaoja- ja sadevesijärjestelmät**
 - maantason tuntumasta alkavien kerrosten lattiapintojen ja ulkoseinien alaosien korkeusasemat suhteessa maan tasoon
 - rakennuksen vierustalta maanpintojen kallistukset, pintakerros ja kosteusrasitukset
 - kasvillisuuden ja juuristojen aiheuttamat haitat ja riskit salaojajärjestelmään, perustuksiin ja ulkoseinärakenteisiin
 - sadevesien poistojärjestelmä, syöksytorvet ja sadevesikourut
 - salaojajärjestelmän toimintaedellytykset suunnitelmista
 - salaoja- ja sadevesijärjestelmien ja niiden purkupaikkojen olemassaolo ja toimintaedellytykset, jos purkupaikka on tarkasteltavissa ja sijaitsee kiinteistön alueella
 - salaojaputkien korkeusasema salaojien tarkastuskaivoista
 - kaivojen puhtaus, huuhtelutarve ja kaivojen kunto



Kuva 26 Talon poikkileikkaus (Lähde KH 90-00393, LVI 01-10413)

• Perustukset ja alapohjarakenteet

- näkyvissä olevat perustus- ja alapohjarakenteet, rakennusosat, pinnat ja pintarakenteet. Kirjataan halkeamien, kallistuksien, painumien, kosteusvaurioiden ja muiden kantavien rakenteiden vaurioiden havainnot.
- perusmuurin vedeneristys näkyvältä osalta
- ryömintätilainen alapohja
 - tuuletusaukot ja alapohjan tuuletuksen toimintaedellytykset
 - ryömintätilan korkeus
 - maapohjan muoto, sokkeleita vasten olevat vastapenkat, maan vyörymät sokkelien alta, maalaji, kapillaarisuuden katkaiseva kerros ja maaperän kosteus
 - veden valuma- ja lammikoitumisjäljet sekä näkyvä vesi
 - alapohjan kosteustilanne ja näkyvät mikrobikasvustot
 - kantavat rakenteet, niiden tuennat ja kapillaarikatkot
 - näkyvissä olevat puurakenteet aistienvaraisesti ja niiden kovuus ja lahovauriot teräspiikillä tai puukolla pistokokein
 - näkyvissä olevat lämmöneristeet
 - hyönteisvauriot
 - läpivientien tiiviys
 - putkistojen kunto, kannakoinnit ja eritykset

- o ryömintätilan puhtaus rakennusjätteistä ja muista orgaanisista materiaaleista
- o kirjataan, missä laajuudessa alapohja ja ryömintätila voitiin tarkastaa
- perustus- ja alapohjarakenteissa tyypillisiä riskirakenteita ovat mm.
 - o valesokkelirakenteet
 - o kaksoisbetonilaattarakenne, jos lämmöneristeenä on mineraalivilla tai lastuvillaeristeet tai laattojen väliseen eristetilaan on sijoitettu vesi- ja lämpöjohtoja
 - o betonilaatan päälle koolatut puurakenteiset lattiat
 - o huonosti tuulettuvat rossipohjaiset puurakenteiset alapohjat
 - o maanvastaiset seinärakenteet, joiden perustukset ovat huonosti salaojitettut tai salaojittamattomat tai joiden perusmuurien vedeneritykset ovat puutteelliset tai puuttuvat kokonaan

Lisäksi muuten rakennustekniikasta tarkastetaan: ulkoseinät ja julkisivut ja muut kantavat seinärakenteet, väliseinät ja välipohjat, ikkunat, ulko-ovet ja parvekeovet, katokset, parvekkeet, terassit yms. rakennukseen liittyvät julkisivun rakenneosat, yläpohja, ullakkoja vesikatto, märkätilat ja kosteat tilat, muut sisätilat sekä muut tilat. Lisäksi arvioidaan seuraavien taloteknisten laitteiden ja järjestelmien kunto lähinnä iän perusteella sekä haastatteluissa saaduilla tiedoilla: lämmitys, vesi- ja viemärlaitteet, ilmanvaihto sekä sähköistys.

6.8 Mittaukset ja muut erityistarkastelut

Kaikkien tutkimuksissa käytettävien mittalaitteiden, mittaus-, analysointi- ja tutkimusmenetelmien tulee olla yleisesti hyväksyttyjä tai yleisesti käytettyjä ja hyväksi todettuja. Mittalaitteet pitää kalibroida valmistajan suositusten mukaan. Tutkimuksessa suoritettavia mittauksia ja mittauskohteita ovat: ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila, ilmavirtaukset, puun kosteuden mittaaminen puunkosteusmittarilla, pintalämpötilojen mittaus, pinnoitteiden kunto, kosteuskartoitus kosteudentunnistimella, salaojat, maanpinnan ja lattiatasen välinen korkeusero, käyttövesi ja lattioiden kaltevuus.

Salaojien osalta mittauksissa tarkastetaan tarkastuskaivoissa olevien salaojaputken päiden alareunan korkeusasema noin 5 cm tarkkuudella. Tulosta verrataan maanpintaan, perustuksiin, lattioiden tasoon tai ryömintätilan maapohjan tasoon.

Kuntotarkastuksen piiriin eivät kuulu seuraavat toimenpiteet: kiinteästi asennettujen kalusteiden tai irtokalusteiden kunnan arviointi, väliovien, kodinkoneiden, keskuspölynimurijärjestelmän eikä vastaaventyyppisten laitteiden kunnan tarkastaminen. Ostajan tulee itse ottaa selvää näistä asioista ostajan ennakkotarkastusvelvollisuuden nimissä, kuten on asunto-osakekauppalaissa määrätty.

6.9 Kuntotarkastuksen rajaukset ja epävarmuustekijät

Aistinvaraisella rakenteita rikkomattomalla tutkimuksella ei saada täyttä varmuutta kohteen kunnosta. Rakenteiden sisäisiä virheitä ja vaurioita on mahdotonta havaita rakenteen pinnalta, jos pintaan ei ole ilmestynyt vaurioita tai tarkastelussa ei tehdä riskihavaintoa.

Jos tilaaja ei noudata hänelle annettuja toimintaohjeita, aiheuttaa se myös rajouksia ja epävarmuustekijöitä. Tällöin ei tarkastusta päästä tekemään täydessä laajuudessa. Kaikki rajaukset ja epävarmuustekijät tulee kirjata kuntotarkastusraporttiin.

6.10 Kuntotarkastusraportti

Kuntotarkastusraportti tulee laatia mahdollisimman yksiselitteisesti, jotta myös henkilöt joilla ei ole rakennustekniikan erityisosaamista pystyvät muodostamaan käsityksen kohteen kunnosta. Kuntotarkastusraportissa esitetään ainakin seuraavat asiat:

- Osapuolet ja läsnä olleet
- Lähtötiedot ja tietojen lähteet
 - o Tarkastuksen kohde ja tarkoitus
 - o Asiakirjat ja haastattelut
 - o Oleelliset poikkeamat asiakirjoihin
 - o Tarkastusolosuhteet
- Rajaukset ja epävarmuustekijät
- Tarkastuksessa käytetyt apuvälineet
- Rakennusteknisiä tietoja kohteesta
- Yhteenvedo havainnoista ja olennaiset epäkohdat ja riskit
- Havainnot kohteesta rakenneosittain, tiloittain, rakenteittain ja järjestelmittäin
 - o Rakennustekninen kunto
 - o Kaikki mittaustulokset
 - o Havaintojen merkitys
 - o Korjaustarve
 - o Johtopäätökset
 - o Toimenpide-ehdotukset
 - o Riskirakenteet
 - o Paloturvallisuusasiat
 - o Käyttöturvallisuus- ja terveysriskit
 - o Haitalliset aineet
 - o Suositukset lisäselvitysten ja – tutkimusten teettämiseksi
 - o Korjaamatta jättämisen riskit
- Liitteet

6.11 Vastuut

Tilaajan vastuuseen kuuluu tutustua ja noudattaa hänelle annettuja toimintaohjeita. Tilaaja vastaa myös tarkastajalle antamiensa tietojen ja asiakirjojen oikeellisuudesta.

Kuntotarkastajan vastuut määräytyvät kuluttajansuojalaissa tai Konsulttitoiminnan yleisten sopimusehtojen mukaan, riippuen siitä tehdäänkö tarkastus yksityishenkilölle vai yritykselle. Kuntotarkastajan vastuusiin ei kuulu hänelle annettujen tietojen ja asiakirjojen oikeellisuuden tarkastaminen. Kuntotarkastajan velvollisuuksiin kuuluu oikaista kuntotarkastuksessa tehty virhe.

6.12 Apuvälineet

Kuntotarkastajan tulee käyttää tarkastuksen aikana henkilökohtaisia suojaimeja ja hänen tulee noudattaa työturvallisuusmääräyksiä.

Tarkastuksessa käytettävät erilaiset mittalaitteet tulee olla kalibroitu ja huollettu ennen tarkastusta. Tarkastajan tulee tuntea käyttämänsä työkalut ja kyetä tulkitsemaan saamiaan mittaustuloksia. Tarkastajan tulee tuntea myös eri mittaustapoja koskevat ohjeet.

7 Maatutkan käyttömahdollisuudet kuntotarkastuksessa ja korjausrakentamisessa

7.1 Salaojat kuntotarkastusraporteissa

Kuntotarkastusraportissa käydään läpi kuntotarkastuksen aikana tehdyt huomiot ja tutkimusten tulokset. Salaojajärjestelmien osalta kuntotarkastus voidaan suorittaa vain jos tarkastuskaivot ovat näkyvillä. Jos salaojajärjestelmän tarkastuskaivot eivät ole näkyvillä tai niitä ei ole, ei pystytä salaojien kuntoa tarkastamaan. Vanhoista rakennuksista puuttuu usein salaojajärjestelmä tai sen olemassaolosta ei ole varmuutta jos vanhat asiakirjat ja suunnitelmat eivät ole tallessa.

Kuntotarkastusraporteissa voi olla esimerkiksi seuraavanlaisia lausuntoja koskien salaojajärjestelmiä:

- ”Rakennuksen salaojituksesta ei ole tietoa.”¹⁹⁹
- ”Kohteen salaojista ei tehty havaintoja ja saadun tiedon mukaan rakennuksen ympärillä ei ole salaojia.”²⁰⁰
- ”Rakennuksen salaojien tarkastusta ei ole mahdollista suorittaa, koska tarkastuskaivot eivät olleet esillä.”²⁰¹

Jos salaojakaivot ovat näkyvissä, voi raportissa olla seuraavanlainen kommentti:

- ”Salaojia tarkasteltiin muutamasta tarkastuskaivosta: Kaivoista ei havaittu puutteita tai vaurioita.”²⁰²

Tilanteissa, joissa salaojien olemassaolosta ei tule selvyyttä pystyttäisiin nopealla maatutkatutkimuksella mahdollisesti varmistamaan salaojien olemassaolo tai niiden puuttuminen. Tutkimuksen edellytyksenä on, että maalajikkeet ovat tutkimukseen sopivia. Maatutkatutkimusta ei voida tehdä saviseen maaperään.

7.2 Sadevesijärjestelmät kuntotarkastusraporteissa

Rakennusten sadevesijärjestelmän tehtävänä on johtaa sadevedet pois talon lähistöltä, joko rakennettua sadevesiviemäristä pitkin tai pintavesinä. Maan pinnan tulee olla viistottu rakennuksesta poispäin, jotta sadevedet valuvat rakennuksesta poispäin.

¹⁹⁹ KR-tiimi Oy, Kuntotarkastusraportti asuntokauppaa varten, Niskapietilantie 1427, 56640 Purnujärvi, s.4

²⁰⁰ Raksystems-Anticimex, RS³-Kuntotarkastus, Immolantie 43, 00780 Helsinki, s.8

²⁰¹ Enviengineers Oy, Kuntotarkastus asuntokauppaa varten, Vanhasillantie 1 A 9, 41660 Toivakka, s.5

²⁰² Raksystems-Anticimex, RS³-Kuntotarkastus, Skatantie 11, 02380 Espoo, s.7

Sadevesijärjestelmien toimivuutta tarkastellaan kuntotarkastuksessa ja sen puutteista mainitaan raportissa. Seuraavia lausuntoja löytyy kuntotarkastusraporteista koskien sadevesijärjestelmiä:

- ”Rakennuksessa on ulkopuolinen sadevesijärjestelmä, vedet ohjataan rakennuksen nurkille.”²⁰³
- ”Katon sadevedet on ohjattu syöksytorvilla rakennuksen vierustalle.”²⁰⁴
- ”Kattovesien poisjohto on puutteellinen rakennuksen vierustalta.”²⁰⁵
- ”Sadevedet laskevat sadevesikaivoihin. Kaivojen purkupaikka ei selvinnyt tarkastuksessa.”²⁰⁶
- ”Kattovesin poisjohto on puutteellinen rakennuksen vierustalta.”²⁰⁷

7.3 Korjausrakentamiseen ja kuntotarkastukseen sopivat maatutkat

Kuntotarkastuksessa voisi olla apuna helppokäyttöinen maatutka, jolla voitaisiin nopeasti selvittää onko kyseisessä kohteessa salaoja- ja sadevesijärjestelmiä maahan kaivettuna. Tällaisia maatutkia löytyy usealta yritykseltä. Esimerkkinä voidaan mainita Pipe Hawk II (Kuva 27), joka on erityisesti suunniteltu putkien ja johtojen paikantamiseen. Tutka on helposti liikuteltavissa, koska se on pyörien päällä ja suhteellisen kevyt. Pipe Hawk II:lla voidaan paikallistaa putket ja johdot, joiden materiaalina on muovi, metalli, betoni, sementti, savi tai puu. Pipe Hawk II on suunniteltu erityisesti rakennusteollisuutta ajatellen. Tutka kertoo putkien ja johtojen syvyyden ja suunnan reaaliaikaisesti laitetta käytettäessä.²⁰⁸

Pipe Hawk on kehittänyt myös pienen tutkan, jolla pystytään tutkimaan esimerkiksi seinä rakenteita ja putkien ja kaapeleiden sijaintia seinän sisällä. Tähän tarkoitukseen sopii parhaiten Pipe Hawk e-Spect. e-Spectiä voidaan käyttää joko vaaka- tai pystytasossa ja se sopii näin ollen sekä seinien että lattian tutkimiseen (Kuva 28 ja Kuva 29).²⁰⁹

²⁰³ KR-tiimi Oy, Kuntotarkastusraportti asuntokauppaa varten, Niskapietiläntie 1427, 56640 Purnujärvi, s.5

²⁰⁴ Raksystems-Anticimex, RS³-Kuntotarkastus, Immolantie 43, 00780 Helsinki, s.8

²⁰⁵ Enviengineers Oy, Kuntotarkastus asuntokauppaa varten, Vanhasillantie 1 A 9, 41660 Toivakka, s.5

²⁰⁶ Raksystems-Anticimex, RS³-Kuntotarkastus, Skatantie 11, 02380 Espoo, s.7

²⁰⁷ Bestate Oy, Kuntotarkastus asuntokauppaa varten, Varpukatu 8, Hyvinkää, s.8

²⁰⁸ Pipe Hawk II, Take the risk out of digging -esite

²⁰⁹ Pipe Hawk e-Spect -esite



Kuva 27 Pipe Hawk II, työnnettävä maatulka putkien paikantamiseen (lähde: Pipe Hawk, Take the risk out of digging -esite)



Kuva 28 Pipe Hawk e-Spect perässä vedettynä (lähde: Pipe Hawk e-Spect -esite)



Kuva 29 Pipe Hawk e-Spect seinärakenteen tutkimiseen (lähde: Pipe Hawk e-Spect -esite)

Kuntotarkastukseen ja korjausrakentamiseen sopivia laitteita löytyy myös Malå Geoscience:lta. Putkia voidaan paikantaa Malå X3M (Kuva 30), joka voidaan asentaa kärryyn ja työntää edellä tai vetää perässä. Tähän tutkaan on liitettävissä erilaisia antennejä eri tutkimuksia varten. X3M toimii 100, 250, 500 ja 800 MHz:n antennien kanssa.²¹⁰



Kuva 30 Malå X3M, työnnettävä tai vedettävä maatutka (lähde: Malå X3M -esite)

Aloittelevalle maatutkan käyttäjälle sopii parhaiten Malå Geosciencen Easy Locator (Kuva 31), jonka avulla putket saadaan nopeasti paikannettua. Laite on valmis käytettäväksi heti, kun on saavuttu mittauspaikalle ja mittaukset päästään aloittamaan heti.²¹¹



Kuva 31 Malå Geoscience Easy Locator -maatutka (lähde: Malå Geoscience, Easy Locator -esite)

Malå Geoscience on kehittänyt CX Concrete Imaging System -betonitutkan (Kuva 32), jonka avulla voidaan betonisia ja muita rakenteita kartoittaa 2D-, 3D- tai objektin etsintä moodilla. CX Systemin avulla pystytään nopeasti paikallistamaan rakenteen sisällä olevat putket ja johdot, ennen kuin rakenteeseen tehdään reikiä. Näin voidaan välttää vahingot ja varmistetaan töiden eteneminen.²¹²



Kuva 32 Malå Geoscience CX System, betonitutka (lähde: Malå Geoscience CX System -esite)

Korjausrakentamisen yhteydessä voitaisiin maatutkaa hyödyntää sekä rakennuksen ulko- että sisäpuolella. Rakennuspaikan johdot, putket ja viemärit saataisiin nopeasti paikannettua, ja pystyttäisiin välttymään putkirikoilta. Samoin voitaisiin kartoittaa kalliopinnan sijaintia, jos haluttaisiin esimerkiksi rakentaa laajennusosa peruskorjauksen yhteydessä. Sisäpuolisissa tutkimuksissa voitaisiin betonitutkalla selvittää putkien ja johtojen sijainnit lattiassa ja valetuissa seinissä eikä niitä vahingoitettaisi esimerkiksi poralla. Samoin voidaan paikantaa betoniraudotteet ja

²¹⁰ Malå Geoscience, X3M -esite

²¹¹ Malå Geoscience, Easy Locator -esite

²¹² Malå Geoscience, CX System -esite

tukirakenteet. Betonitutkalla voidaan myös mitata betonirakenteen paksuus tai betonirauhoitteiden sijainti. Tutkaa voidaan käyttää laadunvarmistukseen esimerkiksi betonivalun jälkeen ja tutkalla voidaan havaita betonissa olevat onkalot.²¹³

7.4 Kuntotarkastuksia tekevät yritykset

Suomesta löytyy useita yrityksiä, jotka tekevät rakennusten kuntotarkastuksia. Kuntotarkastuksia tekevät esimerkiksi:

- Raksystems Anticimex (www.raksystems-anticimex.fi)
- KP Home Consults Oy (www.kphomeconsults.fi)
- Helsingin Rebuild Oy (www.rebuild.fi)
- KR-Tiimi Oy (www.krtiimi.fi)

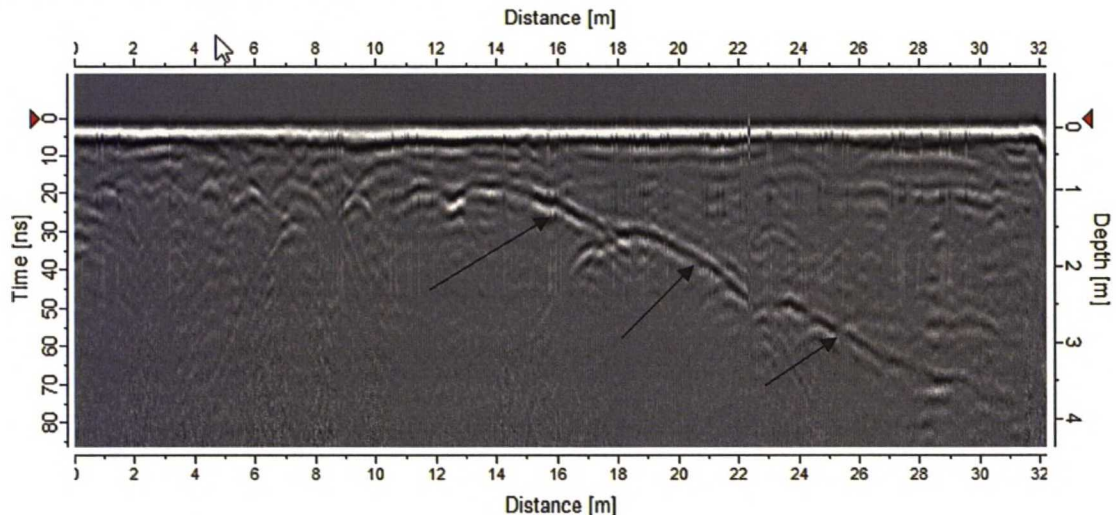
Yksikään näistä yrityksistä ei käytettävissä olevien tietojen perusteella käytä maa- tai betonitutkaa tutkimuksiinsa. Maatutkayritykset tekevät toki tutkimuksia myös rakennuskohteissa, mutta tutkan käyttö ei ole vielä vakiinnuttanut asemaansa rakennustekniikan apuvälineenä. Tienrakennuksessa ja teiden kuntotutkimuksissa tutkaa on käytetty myös Suomessa jo pitkään.

8 Esimerkit

8.1 Rakennuspaikan pohjatutkimus

Maatutkan avulla tutkittiin tasamaatontin pohjaolosuhteita. Pohjatutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kalliopinnan sijaintia. Tutkaluotauksella saatiin kalliopinnan muoto ja syvyys selvitettyä kattavasti koko tontin alueelta.

Kuva 33 nähdään kalliopinnan sijainti tasaisen maanpinnan alla. Kallio laskeutuu selvästi tutkaprofiilissa. Maanperästä tulevat heijasteet näkyvät profiilissa sirontana, kun taas kallion pinta näkyy selvästi.



Kuva 33 Tutkaprofiili tontin pohjaolosuhteista, nuolet osoittavat kallion pinnan

²¹³ Malå Geoscience, CX System -esite

8.2 Putkien paikannus korjausrakentamisessa

Esimerkkitapauksessa tehtiin yrityksen pyynnöstä putkien ja kaapeleiden paikannusta käyttäen betonitutkaa. Kyseessä ollut rakennus oli korjauskohde, joka oli pitkään ollut kylmillään. Putkien paikantamiseen harkittiin käytettäväksi lämpökamera, joka ei kuitenkaan toimi putkien ollessa kylmät riittävän kauan.

Kuva 34 tutkitaan korjauskohteessa etukäteen merkityn reikäpaikan ympäristöä betonitutkalla. Yritys oli merkannut seiniin kohdat, joihin oli tarkoitus tehdä reikiä. Tutkan avulla tutkittiin näiden kohtien ympäristöt ja merkittiin seinään löydettyjen putkien ja kaapeleiden sijainnit.

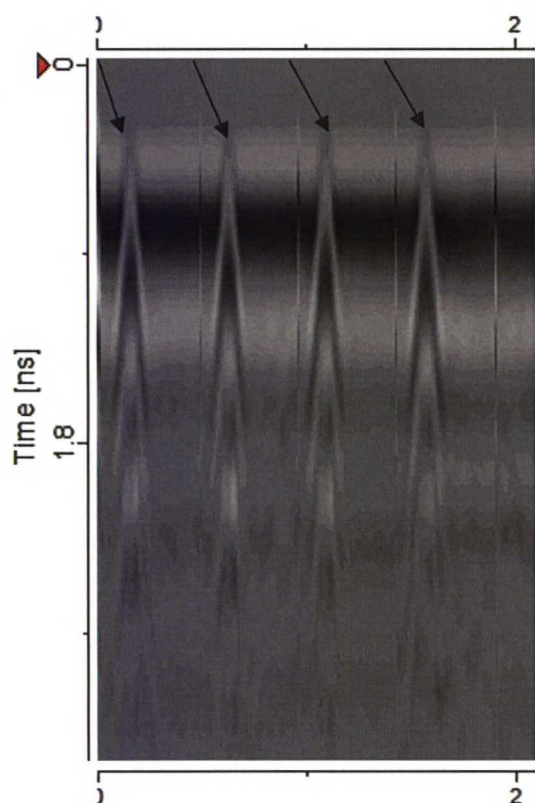


Kuva 34 Putkien paikannusta betonitutkalla

Kuva 35 on seinään merkitty löydetyn putken tai kaapelin paikka. Kyseessä olevassa kohdassa reikä voitiin tehdä suunniteltuun paikkaan, koska tässä kohtaa ei sijainnut putkia. Kuva 36 on näytetty esimerkki tutkakuvasta, joka syntyy kun tutka viedään putken yli. Kuvassa tutkaus on toistettu neljä kertaa yhden putken yli. Putki muodostaa kuvaan hyperbelin.



Kuva 35 Putken paikka merkittynä seinään maalilla



Kuva 36 Tutkaus toistettu yhden putken yli neljä kertaa. Putki merkattu nuolella.

9 Yhteenveto

Maatutkan toiminta perustuu sähkömagneettiseen teoriaan. Mittauksiin ensisijaisesti vaikuttavat fysikaaliset parametrit ovat sähkönjohtavuus ja dielektrisyys. Maatutkia on kahdenlaisia, monostaattisia ja bistaattisia. Käytössä on sekä 2D- että 3D-maatutkia. Pulssitaajuustutka lähettää väliaineeseen lyhytkestoisia sähkömagneettisia signaaleja. Askeltaajuustutka lähettää kaikkia taajuuksia yhtä kauan. 2D-tutkalla voidaan mitata yksi mittalinja kerrallaan, kun taas 3D-tutkalla voidaan mitata jopa 31 vierekkäistä linjaa.

Maatutkamittauksissa käytettävät taajuudet vaihtelevat tutkittavan kohteen mukaan. Geofysikaalisissa tutkimuksissa käytettävät taajuudet ovat normaalisti välillä 10-2000 MHz. Maatutka lähettää väliaineeseen sähkömagneettista säteilyä, joka etenee aineessa aaltoina. Osa aalloista heijastuu materiaalien rajapinnoilta, osa jatkaa etenemistä rajapinnana jälkeen ja heijastuu seuraavalta rajapinnalta.

Maatutkalaitteisto koostuu pulssigeneraattorista, lähetinantennista, vastaanotinantennista sekä näytteenottimesta. Signaalit heijastuvat luonnollisilta tai rakennetuilta rajapinnoilta, joilla on dielektrisiä kontrasteja. Maatutkan lähettämä signaali vaimenee kulkuajan funktiona geometrisen vaimennuksen, signaalin sironnan, heijastusten sekä lämpöhäviön vaikutuksesta. Mittaustaajuus on suurehko. Pyyhkäisyistä mitataan heijastuksen kulku aika ja amplitudi. Amplitudi esitetään kulkuajan funktiona ja kun pyyhkäisyt piirretään rinnaikkain tulokseksi syntyy väliaineen rakenteita kuvaava tutkakuva.

Maatutkansignaalien syvyysulottuvuus riippuu tutkittavan maaperän tai materiaalin laadusta. Hiekkaisessa maaperässä tutkan syvyysulottuvuus on 5...30 metriä, vähäsavisessa maaperässä 1...5 metriä ja runsasavisessa maaperässä alle 0,5 metriä. Maatutkaa voidaan käyttää kalliopinnan syvyyden selvittämiseen maaperätutkimuksissa, jos olosuhteet ovat suotuisat. Tutkalla saadaan rakennuspaikan maaperästä kattavampi kuva kuin kairauksilla ja mittaukset ovat myös nopeampia. Maatutkamittausten avuksi pitää tehdä esimerkiksi yksi referenssikaivaus, jotta voidaan määrittää signaalin nopeus ja tätä apuna käyttäen kerrosrajojen syvyydet.

Maatutkaa on alettu kehittää jo 1900-luvun alussa. Ensimmäiset raportoidut tutkimukset tehtiin kuitenkin vasta 1956. Tästä alkaen on maatutkan tutkimiseen ja kehitykseen käytetty paljon resursseja. Nykyisen kaltainen 3D-tutkalaitteisto on tullut käyttöön 1990-luvulla. Maatutkaa kehitetään koko ajan ja sen käyttämistä laajennetaan uusille sovellusaloille.

Suomessa maatutka otettiin käyttöön vasta 1981, kun ensimmäinen tutka hankittiin Teknilliselle korkeakoululle. 1980-luvun puolivälin jälkeen on maatutkaa käytetty Suomessa enenemässä määrin ja vuonna 2000 Suomessa oli jo 25 tutkaa eri organisaatioiden hallussa. Vuoden 2010 alussa maatutkia Suomessa on keskusyksiköitä noin 50 ja antennoja toista sataa. Käyttäjää on yli 20.

Maatutkan käyttökohteita on erittäin runsaasti. Näistä tärkeimpiä ovat rakennusteollisuus, ympäristötutkimus, geologia, glasiologia, oikeuslääketieteelliset tutkimukset ja arkeologia.

Maatutkamittauksiin tulee valmistautua huolella. Ennen mittauksen aloittamista pitää seuraavat kuusi asiaa olla selvitettyinä: tutkimustaajuus, aikaikkuna, näytteenottoväli, lähetin-vastaanotinväli, antennien suuntaaminen ja mittauspisteiden väli. Maatutkamittauksia voidaan suorittaa usealla eri tavalla. Mittaukset eroavat toisistaan antennien sijoittelun suhteen. Vaihtoehtoina on pitää antennien välimatka vakiona, siirtää joko lähetinantennia tai vastaanotinantennia toisen pysyessä paikallaan sekä siirtää molempia antenneja yhteisen keskipisteen suhteen kauemmas toisistaan.

Maatutkamittauksen jälkeen tulee mittaussaineistoa käsitellä ja prosessoida. Prosessoinnissa voidaan tehdä esimerkiksi seuraavia toimenpiteitä: vahvistus, suodattaminen, signaalien summaaminen, dekonvoluutio, mallintaminen, migraatio, aikaleikkaus ja topografiakorjaus.

Maatutkamittauksia ei pystytä suorittamaan kaikissa olosuhteissa. Maaperä ei saa olla runsassavista eikä sisältää paljon kiviä tai lohkareita. Myös pystyt tai monimuotoiset heijastuspinnat vaikeuttavat maatutkamittauksia. Maatutkaa käyttämällä päästään hyviin tuloksiin kun mittausolosuhteet ovat suosiolliset.

Maatutkan käyttäjät ovat järjestäytyneet niin Suomessa kuin kansainvälisestikin. Suomessa maatutkankäyttäjillä on Maatutkarengas niminen yhdistys. Eurooppalaiset maatutkankäyttäjät ovat perustaneet Euro GPR -yhdistyksen valvomaan maatutkan käyttäjien etua. Joka toinen vuosi järjestetään maatutkan käyttäjille kansainvälinen konferenssi. Konferensseja on järjestetty vuodesta 1986 asti. 2010 konferenssin pitopaikkana oli Lecce Italiassa.

Maatutkan muunnosta betonitutkaa käytetään avuksi rakennusteollisuudessa. Betonitutkalla voidaan tehdä betonin laatututkimuksia, kosteusmittauksia, betoniraudoitustutkimuksia ja paikantaa onkaloita tai putkia betonin sisästä.

Korjausrakentamisella tarkoitetaan rakennuksen ominaisuuksien parantamista vastaamaan nykypäivän vaatimuksia. Korjaustarpeen selvittämiseksi tehdään rakennukseen kuntotarkastus, jonka perusteella päätetään rakennukselle suoritettavista toimenpiteistä.

Perustukset ja pohjarakenteet muodostavat pohjan rakennukselle. Perustusten suunnittelussa ja rakentamisessa on oltava erityisen tarkka, koska perustuksissa olevat ongelmat on erittäin vaikeita korjata jälkikäteen. Perustamistapa riippuu rakennuspaikan maaperästä ja sen kantavuudesta. Perustusten tärkeimmät tehtävät ovat muodostaa tukeva alusta rakennukselle, pitää rakennus kuivana, pitää rakennus lämpimänä, tasoittaa maapohjan korkeuseroja sekä estää radonin pääsy rakennukseen. Perustukset voidaan rakentaa suoraan kalliolle tai kantavalle maapohjalle. Maapohjan ollessa vähemmän kantava, pitää perustukset tehdä joko arinan päälle tai paaluille.

Salaoja- ja sadevesijärjestelmien tehtävänä on pitää rakennuksen perustukset kuivana ja estää kosteusvauriot. Nykyisten suositusten mukaan tulee kaikkiin rakennuksiin rakentaa salaojajärjestelmä. Vain poikkeustapauksissa erittäin hyvin vettä johtavalle maalle perustettaessa voidaan salaojajärjestelmä jättää rakentamatta.

Maaperässä on neljänlaista kosteutta: pohjavettä, vajovettä, vesihöyryä sekä kapillaarista vettä. Salaojien tehtävänä on suojella rakennuksen perustuksia näiltä vesiltä.

Salaojitusjärjestelmä koostuu salaojituskerroksista ja salaojaputkista sekä -kaivoista. Salaojitusta auttaa myös maan pinnan kallistaminen pois talosta päin ja pintamaan alla sijaitseva huonosti vettä läpäisevä kerros. Salaojaputket ja -kaivot voivat olla muovisia tai voidaan myös käyttää muovisia putkia ja betonisia kaivoja. Salaojajärjestelmät huolletaan salaojakaivojen kautta. Salaojajärjestelmien kunto tulee tarkastaa säännöllisesti, etteivät putket tukkeudu ja aiheuta vahinkoa rakennukselle johtamalla vettä perustuksiin. Sadevesijärjestelmä rakennetaan yleensä salaojajärjestelmän viereen. Sadevesijärjestelmää apuna käyttäen johdetaan sadevedet pois rakennuksen katolta ja läheisyydestä. Sadevesijärjestelmän vedet voidaan joko imeyttää maaperään tai johtaa pois rakennuspaikalta kaupungin sadevesiverkostoon.

Kuntotarkastuksessa käydään rakennuksen kaikki rakenteet läpi järjestelmällisesti. Kuntotarkastus tehdään aistinvaraisesti ja rakenteita rikkomatta. Kuntotarkastuksen tavoitteena on tuottaa puolueetonta tietoa rakennuksen tarkastushetkisestä kunnosta. Kuntotarkastuksessa käydään läpi rakennuksen rakennustekninen kunto, korjaustarpeet, vaurioriskit, käyttöturvallisuusriskit, terveysriskit sekä annetaan toimenpide-ehdotuksia riskien välttämiseksi ja korjaamiseksi. Ennen tarkastusta tarkastaja laatii tarkastussuunnitelman, jossa tarkennetaan tarkastuksen painopistealueet kohteen ominaispiirteiden sekä alkuhaastattelun ja asiakirjoista saadun tiedon perusteella. Kuntotarkastaja toimittaa myös tarkastuksen tilaajalle kirjalliset toimintaohjeet ennen tarkastusta. Tarkastuksen jälkeen kohteesta kirjoitetaan kuntotarkastusraportti. Raportti tulee kirjoittaa niin yksiselitteisesti, että myös henkilöt joilla ei ole rakennusalan erikoisosaamista ymmärtävät rakennuksen todellisen kunnan.

Salaojajärjestelmien kuntotarkastuksissa voitaisiin hyödyntää maatulkaa. Vanhoissa rakennuksissa ei tiedetä välttämättä onko rakennuksen ympärillä salaojia. Maatulkan avulla nämä putket voitaisiin paikallistaa nopeasti ja helposti. Vaatimuksena on kuitenkin, että maaperän tulee olla maatulkan käyttöön sopivaa eli se ei saa sisältää paljon savea tai kiviä ja lohkareita.

Korjausrakentamiseen ja kuntotarkastukseen sopivia maatulkaa löytyy usealta yritykseltä. Maaperän ja maahan haudattujen putkien tutkimiseen on olemassa helposti käytettäviä työnnettäviä tai vedettäviä maatulkaa. Myös betonirakenteiden tutkimiseen on kehitetty omat laitteistonsa, joiden avulla betonin sisällä olevat raudoitteet, putket ja ilmatilat saadaan helposti ja nopeasti paikannettua.

Maatulkaa ja betonitulkaa ei käytetä Suomessa vielä paljoa rakennustyömailla. Maatulkan avulla pystyttäisiin joissain tapauksissa välttymään yllätyksiltä esimerkiksi perustusten teossa, kun kalliopinnan sijainti olisi tarkasti tiedossa jo ennen kaivamisen aloittamista. Samoin pystyttäisiin välttämään monet putkiin, sähköjohtoihin ja kaapeleihin kohdistuvat vahingot, jos niiden sijainti tutkittaisiin ennen korjaustöihin ryhtymistä.

Sanasto

α : aallon vaimeneminen väliaineessa [dB/m]

B: kaistaleveys

ϵ : dielektrinen permeabiliteetti [F/m]

ϵ_r : suhteellinen dielektrisyysvakio [F/m]

λ : maatutkasignaalin aallonpituus [m]

λ_c : keskitaajuuden aallonpituus [m]

σ : sähkönjohtavuus [S/m]

ω : $=2\pi f$ = kulmataajuus

c: valon nopeus, 0,2998 m/ns

f: käytettävän antennin keskitaajuus [MHz]

Δl : horisontaalinen erotuskyky

n: optinen taitekerroin

R: tehoheijastuskerroin

r: kohteen syvyys

Δr : vertikaalinen erotuskyky

s: rajapinnan syvyys

t: pulssin kaksinkertainen kulkuaika [ns]

v: signaalin nopeus väliaineessa [m/ns]

W: pulssin leveys

z: tarvittava syvyysulottuvuus

Aikaikkuna, t_w : Tarvittava aikaikkuna lasketaan kaavalla $t_w = 1,3 \frac{2z}{v}$

Antennien erottaminen: Antennien välimatkaa muuttamalla voidaan laitteistoa optimoida kyseessä olevan kohteen havaitsemiseksi

Antennien suuntaaminen: Antennit suunnataan tavallisesti siten, että sähkökenttä polarisoidaan kohteen pitkän akselin tai löydön suuntaisesti

Askeltaajuustutka: Askeltaajuustutka lähettää kaikkia taajuuksia yhtä kauan

Asuinkiinteistön kuntoarvio: Kiinteistön tilojen, rakennusosien, taloteknisten järjestelmien ja ulkoilualueiden kunnan aistinvarainen selvittäminen ja korjaustarpeiden yleispiirteinen arviointi sekä niiden määrämuotoinen raportointi. Kuntoarviointi tehdään aina ryhmätyönä, johon kuuluvat LVI-, sähkö- ja rakennustekniset asiantuntijat. Kuntoarvioinnin tavoitteena on kunnossapitosuunnittelun lähtötietojen hankinta. Kuntoarvioon liitetään yleensä pitkän tähtäimen kunnossapitosuunnitelma (PTS-ehdotus). Kuntoarviointi voidaan tehdä myös horisontaalisena, joka tarkoittaa vain tietylle rakennusosalle, rakenteelle tai järjestelmälle useassa kiinteistössä yhtä aikaa tehtävää kuntoarviointia. Kuntoarvioinnin yhteydessä kohteessa tehtävää teknistä tarkastamista nimitetään kiinteistötarkastukseksi. Kuntoarvioinnissa tarkastetaan pistokoe -otantaisesti 10...20 % asunnoista.

Kuntoarvioijalle on olemassa koulutus ja valtakunnallinen tutkintokoe. Tutkintokokeen läpäissyt henkilö saa käyttää nimikettä päteväitynyt kuntoarvioija PKA.²¹⁴

Bistaattinen antenni: Lähetin- ja vastaanotinantennit ovat erillisiä.

Dekonvoluutio: Dekonvoluutiolla voidaan terävöittää tutkasignaalia ja poistaa monikertaiset heijastukset.

Hule- ja sadevesi: Hulevesi tarkoittaa sade- ja sulamisvettä, joka johdetaan pois maan pinnalta, rakennuksen katolta tai muulta vastaavalta pinnalta. Vesihuoltolaissa sadevesi on korjattu termillä hulevesi.²¹⁵

Kaksiulotteinen suodatus: Kaksiulotteisessa suodatuksessa tehdään suodatus vinosti matka- ja aikakoordinaattien suhteen.

Kapillaarikatkokiviainekset: Kalliosta tai sorasta valmistettuja karkeita kiviaineita, joiden rakeisuus on välillä 5...8/16...32 mm, kutsutaan kapillaarikatkokiviaineksiksi. Kiviaineksesta määritetään kapillaarinen nousukorkeus, ja jotta kapillaarinen

²¹⁴ KH 90-00394, s.2

²¹⁵ RIL 126-2009 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus, s.7

vedennousu saadaan katkaistua, tulee täyttöpaksuuden olla suurempi kuin määritetty vedennousukorkeus.²¹⁶

Kapillaarivirtaus: Huokosalipaineen paikallisten erojen vaikutuksesta neste pääsee kapillaarivirtauksena siirtymään huokoisessa aineessa.²¹⁷

Kosteus: Kosteudeksi kutsutaan kemiallisesti sitoutumatonta vettä kaasumaisessa, nestemäisessä tai kiinteässä muodossa.²¹⁸

Kuntoarvio: Kuntoarviolla käsitetään kiinteistön, rakennuksen, rakennuksessa olevan järjestelmän tai rakennuksen yksittäisen rakenteen tai rakenneosan kunnan arvioimista pääasiassa aistinvaraisesti ja kokemusperäisesti sekä rakenteita ja materiaaleja rikkomatta.²¹⁹

Kuntotarkastus: Kuntotarkastus perustuu Rakennustieto Oy:n julkaisemaan Suoritusohjeeseen KH 90-00394 Kuntotarkastus asuntokaupan yhteydessä. Kuntokartoituksen tarkoitus on tuottaa puolueetonta tietoa asuntokaupan osapuolille tarkastettavan kohteen rakennusteknisestä kunnosta, korjaustarpeista, vaurio-, terveys-, ja käyttöturvallisuusriskeistä, sekä niihin liittyvistä toimenpide-ehdotuksista.²²⁰

Kuntotarkastus asuntokaupan yhteydessä: Asuntokaupan yhteydessä tehtävän aistinvaraisen ja rakennetta rikkomattoman kuntotarkastuksen tavoitteena on tuottaa puolueetonta tietoa asuntokaupan osapuolille rakennuksen rakennusteknisestä kunnosta, korjaustarpeista, vaurio-, käyttöturvallisuus- ja terveysriskeistä sekä toimenpide-ehdotuksista. Kuntotarkastuksen tekee yleensä vain rakennustekninen asiantuntija. Talotekniikkaa arvioidaan näkyviltä osilta sekä iän ja käyttäjältä saatavan informaation perusteella. Kuntotarkastuksessa käydään kohteesta läpi kaikki rakenteet, tilat ja rakennusosat suoritusohjeen mukaisessa laajuudessa.

Kuntotarkastuksesta laaditaan aina kirjallinen raportti.

Asuntokaupan kuntotarkastajalle on olemassa tutkintoon valmentavaa koulutusta ja valtakunnallinen tutkintokoe. Tutkintokokeen läpäissyt henkilö saa käyttää nimikettä asuntokaupan kuntotarkastaja AKK. Laissa, asetuksessa tai muualla asetettuja ”virallisia” vaatimuksia ei ole.²²¹

Kuntotutkimukset, muut tutkimukset ja selvitykset yleisesti: Kuntotutkimuksella tai muilla erityistutkimuksilla tai -selvityksillä tarkoitetaan yleisesti jonkun yksittäisen rakenteen, rakenneosan, järjestelmän tai laitteen tarkempaa tutkimista.

²¹⁶ RIL 126-2009 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus, s.7

²¹⁷ Ympäristöopas 51, Kosteus rakentamisessa RakMK C2 opas, s.8

²¹⁸ Ympäristöopas 51, Kosteus rakentamisessa RakMK C2 opas, s.8

²¹⁹ KH 90-00394, s.2

²²⁰ KH 90-00394, s.2

²²¹ KH 90-00394, s.2

Tutkimusmenetelmät ovat usein rakenteita rikkovia. Tutkimuksen tavoitteena on saada selville mahdollisen ongelman tai vaurion laajuus ja aiheuttaja sekä antaa sen jälkeen tarvittavat toimenpide-ehdotukset, suunnittelun ja korjauksen tai uusimisen lähtötiedoiksi. Kuntotutkimuksiin löytyy eri osa-alueille ohjeita, joissa on määritelty tutkimuksen sisältö, laajuus ja suoritustapa.

Tutkimuksia ja selvityksiä tekevät mm. VTT:n henkilösertifioimat rakennusterveysasiantuntijat ja rakennusten lämpökuvaajat.²²²

Korjausrakentaminen: Korjausrakentaminen on termi kertaluontoisille toimille, jotka tapahtuvat rakennuksen käyttöaikana vain kerran tai muutamia kertoja, ja jotka muuttavat rakennuksen ominaisuuksia haluttuun suuntaan.²²³

Kosteuskartoitus ja kosteusmittaus: Kartoitus -termi liittyy usein toimenpiteisiin, joiden tarkoituksena on selvittää jonkun yksittäisen vaurion tai ongelman olemassaoloa ja laajuutta, esimerkiksi asbestikartoitus tai vesivahingon yhteydessä tehtävä kosteuskartoitus.

Vesivahinkojen ja kosteusvaurioiden kartoittajille on olemassa koulutus ja tutkintokoe. Tutkintokokeen läpäissyt henkilö saa käyttää nimikettä pätevätoimintakokona kosteuden mittaaja PKM. Lisäksi on VTT:n rakenteiden kosteudenmittaajien henkilösertifiointimenettely.²²⁴

Maatutkaluotaus: Maatutka on tutkimusmenetelmä, jossa maankamaraan lähetetään radioaaltoja, joko lyhyinä pulsseina tai jatkuvana aaltona ja samalla seurataan saatuja heijastuksia vastaanottimen avulla.²²⁵

Mallintaminen: Mallintamisessa teoreettiset tutkagrammit rakennetaan kerrokselliseksi malliksi, jotta saadaan tietoa heijastustapahtumien fyysisestä merkityksestä, joka sisältyy tutkapoikkileikkaukseen

Mittausasemien väli: Erillisten tutkimittauksen välinen etäisyys riippuu mittauksen keskitaajuudesta ja maanalaisten materiaalien dielektrisistä ominaisuuksista

Monostaattinen antenni: Lähetin- ja vastaanotinantennit sijaitsevat samassa antennissa.

Näytteenottoväli: Hyvän tutkimittauksen kannalta tulisi näytteenottovälin olla noin kuusi kertaa käytettävän antennin keskimääräisen taajuuden eli $t = \frac{1000}{6f}$

²²² KH 90-00394, s.2

²²³ RIL 174-1, Korjausrakentaminen 1, Yleiset perusteet, s. 78

²²⁴ KH 90-00394, s.2

²²⁵ Peltoniemi M., Maa- ja kallioperän geofysikaaliset tutkimusmenetelmät, s. 229

Pintavesi: Maanpinnalla olevaa, maanpintaa pitkin virtaavaa tai katolta tulevaa vettä kutsutaan pintavedeksi.²²⁶

Pohjarakenne: Rakennuksen perustuksia, maanvaraisia seinä- ja lattiarakenteita, kuivanapitorakenteita, routasuojusrakenteita sekä muita suojausrakenteita kutsutaan pohjarakenteiksi.²²⁷

Pohjavesi: Vettä, joka sijaitsee kapillaarivyöhykkeen alapuolella, sanotaan pohjavedeksi. Pohjavesi on kyllästänyt maa- tai kalliiovyöhykkeen täysin. Pohjavesi voi olla myös paineellista.²²⁸

Pulssitutka: Pulssitutka lähettää nimellistaajuuden lisäksi säteilyä suuremmilla ja pienemmillä taajuuksilla.

Salaojituserros: Salaojituserroksen sijaitsee kuivattavaa rakennetta vasten pintamaan alla ja sen tarkoituksena on johtaa vesi pois kuivatettavalta alueelta painovoimaisesti tai pumppaamalla.²²⁹

Salaojajärjestelmä: Rakennuksen pohjan tai vastaavan alueen kuivattamiseksi tehdään salaojajärjestelmä, joka muodostuu salaojaputkista, salaojituserroksesta, salaojakaivoista, tarkastusputkista ja kokoajakaivoista. Tarvittaessa järjestelmään kuuluu myös padotusventtiili tai se on varustettu pumpulla.²³⁰

Salaojaputki: Salaojaputken tehtävänä on johtaa maakerroksista kuivatettavat vedet hulevesijärjestelmään tai avo-ojaan. Salaojaputkeen vesi pääsee ympäristöstä putken seinämän reikien läpi. Salaojaputki sijaitsee salaojituserroksessa.²³¹

Signaalien summaaminen: Signaalien summaamisella eli pinoamisella tarkoitetaan joko samasta pisteestä tehtyjen tai samalla keskipisteellä tehtyjen mittausten summaamista, jotta saataisiin parempi signaali-kohina suhde.

Suodatinkangas: Suodatinkangasta käytetään korvaamaan suodatinkerros päällysrakenteessa. Suodatinkangas on synteettinen, kangas- tai huopamainen tuote. Kankaan tehtävänä on ensisijaisesti erottaa maa- ja kiviaines toisistaan (yleensä maapohja ja rakennekerros).²³²

²²⁶ RIL 126-2009 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus, s.8

²²⁷ RakMK B3, Pohjarakenteet, s. 3

²²⁸ RIL 126-2009 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus, s.8

²²⁹ RIL 126-2009 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus, s.8

²³⁰ RIL 126-2009 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus, s.8

²³¹ RIL 126-2009 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus, s.9

²³² RIL 126-2009 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus, s.9

Suodattaminen: Suodattamisen tarkoitus on poistaa kohina ja jättää jäljelle vain tarpeelliset heijastukset.

Tarkastuskaivo: Salaoja- tai viemäriverkostossa on joko betoni- tai muovirakenteinen putki, jota kutsutaan tarkastuskaivoksi. Kaivon sisähalkaisija on käyttötarkoituksen mukainen. Tarkastuskaivon kannessa saattaa olla teleskooppiosa.²³³

Tarkastusputki: Tarkastusputki on sisähalkaisijaltaan pienempi kuin tarkastuskaivo. Tarkastusputki liittyy salaoja- tai viemäriverkoston ja se on joko betoni- tai muovirakenteinen.²³⁴

Tutkimustaajuus: Pääsääntöisesti taajuus määritellään tarvittavan syvyysulottuvuuden mukaan. Taajuus voidaan määritellä karkeasti kaavalla $\log_e f = -0,95 \log_e z + 6,15$

Vahvistus: Vahvistuksella poistetaan signaalin aikaan liittyvä heikentyminen.

Vajovesi: Painovoiman vaikutuksesta maaperässä alaspäin liikkuvaa vettä kutsutaan vajovedeksi.²³⁵

2D-tutka: 2D-tutkalla voidaan mitata yksi mittalinja kerrallaan. 2D-tutkia voidaan tehdä sekä askeltaajuus- että pulssitutkatekniikalla.

3D-tutka: 3D-tutkia voidaan tehdä sekä askeltaajuus- että pulssitutkatekniikalla. Mittausmenetelmä sopii hyvin kohteisiin, joissa halutaan saada tietoa rakenteista myös poikkisuunnassa. 3D-tutkalla voidaan mitata jopa 31 linjaa yhtä aikaa.

²³³ RIL 126-2009 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus, s.9

²³⁴ RIL 126-2009 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus, s.9

²³⁵ RIL 126-2009 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus, s.9

Lähdeluettelo

Annan A.P., Ground Penetrating Radar Principles, Procedures & Applications, 2003

Annan A.P., GPR - History, Trends, and Future Developments, Subsurface Sensing Technologies and Applications, Vol 3, No 4, October 2002

Annan A.P., Davis J.L., Impulse radar soundings in permafrost, Radio Science, Vol. 11, No 4, 1976, s. 383-394,

Annan A.P., Chua L.T., Ground Penetrating Radar Performance Predictions, The Geological Survey of Canada, Paper 90-4, 1992

Annan A.P., Davis J.L., Gendzwill D., Radar Sounding in Potash Mines: Saskatchewan, Canada, Geophysics, Vol. 53, No 12, December 1988

Annan A.P., Davis J.L., Johnston G.B., Maximizing 3D GPR Image Resolution: A Simple Approach: Proceedings of the High Resolution Geophysics Workshop, University of Arizona, Tuscon, AZ, January 6-9, 1997

Annan A.P., Radio interferometry depth sounding: Part I – Theoretical discussion, Geophysics, Vol. 38, No. 3, June 1973 (doi: 10.1190/1.1440360), ISSN 0016-8033

Annan A.P., Transmission dispersion and GPR, Journal of Environmental and Engineering Geophysics, Vol. 1, No B, January 1996, (doi: 10.4133/JEEG1.B.125)

Bailey J.T., Evans S., Robin G. de Q., Radio Echo Sounding of polar ice sheets, Nature, Vol. 204, No. 4957, October 1964

Bentley C.R., The structure of Antarctica and its ice cover, Research in Geophysics, Vol 2, Solid Earth and Interface Phenomena, Cambridge Mass., Technology Press of Massachusetts Institute of Technology, s. 335-389

Bergmann T., Blanch J.O., Robertson J.O.A., Holliger K., A simplified Lax-Wendroff correction for staggered-grid FDTD modeling of electromagnetic wave propagation in frequency-dependent media, Geophysics, Vol. 64, No 5, September-October 1999, (doi: 10.1190/1.1444642), ISSN 0016-8033

Bestate Oy, Kuntotarkastus asuntokauppaa varten, Varpukatu 8, Hyvinkää

Bitri A., Grandjean G., Frequency-wavenumber modelling and migration of 2D GPR data in moderately heterogenous dispersive media, Geophysical Prospecting, Vol. 46, No 3, May 1998, (doi: 10.1046/j.1365-2478.1998.00091.x), ISSN

Brewster M.L., Annan A.P., Ground-penetrating radar monitoring of controlled DNAPL release: 200 MHz radar, *Geophysics*, Vol. 59, No 8, August 1994, (doi: 10.1190/1.1443679), ISSN 0016-8033

Cai J., McMechan G.A., Ray-based synthesis of bistatic ground-penetrating radar profiles, *Geophysics*, Vol 60, No 1, January-February 1995, (doi: 10.1190/1.1443766), ISSN 0016-8033

Casas A., Pinto V., Rivero L., Fundamentals of ground penetrating radar in environmental and engineering applications, *Annali di Geofisica*, Vol. 43, No. 6, December 2000

Cook J.C., Radar exploration through rock in advance of mining, *Trans. Society of Mining Engineers, AIME*, Vol 254, s. 140-146

Coon J.B., Fowler J.C., Schafers C.J., Experimental uses of short pulse radar in coal seams, *Geophysics*, Vol. 46, No 8, August 1981, (doi: 10.1190/1.1441256), ISSN 0016-8033

Daniels D.J., Ground penetrating radar, 2. painos, Lontoo 2007, ISBN 978-0-86341-360-5

Davis J.L., Annan A.P., Borehole Radar Sounding in CR-6, CR-7 and CR-8 at Chalk River, Ontario, Technical Record TR-401, Atomic Energy Canada Ltd., 1986

Davis J.L., Annan A.P., Black G., Leggatt C.D., Geological sounding with low frequency radar; in extended abstract, 55th Annual International Meeting of the Society of Exploration Geophysics, Washington D.C., 1985

Dolphin L.T. et al., Radar Probing of Victoria Peak, New Mexico, *Geophysics*, Vol. 43, No 7, December 1978, (doi: 10.1190/1.1440906), ISSN 0016-8033

Doolittle J.A., Asmussen L.E., Ten years of applications of ground penetrating radar by United States Department of agriculture, *Proceedings of the Fourth International Conference on Ground Penetrating Radar*, Geological Survey of Finland, Special paper 16, s. 139-147

El Said M.A.H., Geophysical prospection of underground water in the desert by means of electromagnetic interference fringes

Enviengineers Oy, Kuntotarkastus asuntokauppaa varten, Rivitalohuoneisto, Vanhansillantie 1 A 9, As Oy Toivakan Metsätalo, 41660 Toivakka

Fisher E., McMechan G.A., Annan P.A., Acquisition and processing of wide-aperture ground penetrating radar data, *Geophysics*, Vol. 57, No. 3, March 1992, (doi: 10.1190/1.1443265), ISSN 0016-8033

Fisher E., McMechan G.A., Annan P.A., Cosway S.W., Examples of reverse-time migration of single-channel, ground-penetrating radar profiles, *Geophysics*, Vol. 57, No. 4, April 1992 (doi: 10.1190/1.1443271), ISSN 0016-8033

Gerlitz K., Knoll M.D., Cross G.M., Luzitano R.D., Knight R., Processing ground penetrating radar data to improve resolution of near surface targets, *Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*, San Diego, California, 1993

Goodman D., Ground-penetrating radar simulation in engineering and archeology, *Geophysics*, Vol 59, No 2, February 1994, (doi 10.1190/1.1443584), ISSN 0016-8033

Grasmueck M., 3-D ground-penetrating radar applied to fracture imaging in gneiss, *Geophysics*, Vol. 61, No. 4, July-August 1996, (doi 10.1190/1.1444026), ISSN 0016-8033

Greaves R.J., Lesmes D.P., Lee J.M., Toksoz M.N., Velocity variation and water content estimated from multi-offset, ground penetrating radar, *Geophysics*, Vol. 61, No. 3, May-June 1996, (doi 10.1190/1.1443996), ISSN 0016-8033

Hemgren P., Wannfors H., Pientalon käsikirja, Tanska 2004, ISBN 951-31-2446-0

Holser W.T., Brown R.J., Roberts F.A., Fredriksson O.A., Unterberger R.R., Radar logging of a salt dome, *Geophysics*, Vol. 37, No. 5, October 1972, (doi 10.1190/1.1440307), ISSN 0016-8033

Hänninen P., Maatutkaluotaus maaperägeologisissa tutkimuksissa, Espoo 1991, ISBN 951-690-428-9

Jol H., Digital ground penetrating radar (GPR): a new geophysical tool for coastal barrier research (exemples from the Atlantic, Gulf and Pacific Coasts, U.S.A.), *Journal of Coastal Research*, Vol. 12, No. 4, Fall 1996, ISSN 0749-0208

Knödel K., Lange G., Voigt H.J., *Environmental Geology, Handbook of Field Methods and Case Studies*, Berlin Heidelberg 2007, ISBN 978-3-540-74669-0

KR-Tiimi Oy, Kuntotarkastusraportti asuntokauppaa varten, Niskapietiläntie 1427, 56640 Purnujärvi

Kyyrönen K., Talonrakennus 1, Keuruu 2009, ISBN 978-951-1-22395-5

Lampe B., Holliger K., Finite-difference modelling of ground-penetrating radar antenna radiation, Proceedings of the 8th International Conference on Ground Penetrating Radar, Gold Coast, Australia, Vol 4084, Poster Session III, 2000, (doi 10.1117/12.383630)

Maatutkarengas ry, Maatutkarengas ry:n 10-vuotisjuhlaseminaari 15.-16.2.2000 Kuopio

Maijala P., Applications of some seismic data processing methods to ground penetrating radar data, Fourth International Conference on Ground Penetrating Radar, June 8-13, Rovaniemi, Finland, 1992

Malå Geoscience, CX System -esite

Malå Geoscience, X3M -esite

Morey R.M., Continuous subsurface profiling by impulse radar, Proceedings of Engineering Foundations Conference on Subsurface Exploration for Underground Excavations and Heavy Construction, s. 213-232, Henniker N.H., 1974,

Olhoeft G.R., The electrical properties of permafrost, Ph. D. Thesis, University of Toronto, 1975, 172 pages

Olhoeft G.R., Electrical properties from 10^{-3} to 10^{+9} Hz – physics and chemistry, Proceedings of the 2nd International Symposium on the Physics and Chemistry of Porous Media, American Institute of Physics Conference Proceedings, Vol 154, No 1, March 1987, s. 281-298, (doi 10.1063/1.36399)

Olsson O., Falk L., Forslund O., Sandberg E., Crosshole Investigations – Results from Borehole Radar Investigations , Stripa Project TR 87-11, SKB, Stockholm, Sweden

Owen T.R., Cavity Detection Using VHF Hole to Hole Electromagnetic Techniques, Proceedings of the Second Tunnel Detection Symposium, Colorado School of Mines, Golden CO, July 21-23, 1981, U.S. Army MERADOM, Ft. Belvoir, VA, s. 126-141

Passi T., Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa, Ratahallintokeskuksen julkaisuja A8/2007, Helsinki 2007, ISBN 978-952-445-198-7

Peltoniemi M., luentokalvot Arkeologia ja oikeuslääketiede, johdatus forensiseen arkeologiaan, TKK 5.11.2008

Peltoniemi M., Maa- ja kallioperän geofysikaaliset tutkimusmenetelmät, Hämeenlinna 1988, ISBN 951-672-056-0

Pipe Hawk, e-Spect -esite

Pipe Hawk, Take the risk out of digging

Rakennustieto Oy, KH 90-00393, LVI 01-10413, Kuntotarkastus asuntokaupan yhteydessä, Tilaaajan ohje

Rakennustieto Oy, KH 90-00394, LVI 01-10414, Kuntotarkastus asuntokaupan yhteydessä, Suoritusohje

Raksystems-Anticimex, RS³-Kuntotarkastus -raportti, Immolantie 43, 00780 Helsinki, tarkastuspäivä 29.4.2009

Raksystems-Anticimex, RS³-Kuntotarkastus -raportti, Skatantie 11, 02380 Espoo, tarkastuspäivä 4.5.2009

Redman J.D., Kunert M., Gilson E.W., Pilon J.A., Annan A.P., Borehole radar for environmental applications, selected case studies, Proceedings of the Sixth International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR '96), September 30-October 2, 1996, Sendai, Japan

Reynolds J.M., An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, West Sussex 1997, ISBN 0-471-95555-8

Roberts R.I., Daniels J.J., Analysis of GPR polarization phenomena, Journal for Environmental and Engineering Geophysics, Vol 1, No 2, August 1996, (doi 10.4133/JEEG1.2.139)

Saarenketo T., Electrical properties of road materials and subgrade soils and the use of ground penetrating radar in traffic infrastructure surveys, Oulu 2006, ISBN 951-42-8222-1

Sandmeier geophysical software – REFLEX 2D-Quick guide

Simmons G., Strangway D., Annan A.P., Baker R., Bannister L., Brown R., Cooper W., Cudley D., deBettencourt J., England A.W., Groener J., Kong J.A., LaTorraca G., Meyer J., Nanda V., Redman J.D., Rossiter J., Tsang L., Urner J., Watts R., Surface Electrical Properties Experiment, in Apollo 17, Preliminary Science Report, Scientific and Technical Office, NASA, Washington D.C., 1973, s. 15-1 – 15-14

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL, RIL 126-2009, Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus, Helsinki 2009, ISBN 978-951-758-508-8

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL, RIL 174-1, Korjausrakentaminen 1, Yleiset perusteet, Helsinki 1988, ISBN 951-758-170-X

Tiehallinto, Rakenteen parantamissuunnittelua edeltävät maatutkatutkimukset ja tulosten esittelytapa – menetelmäkuvaus, Helsinki 2004, ISBN 951-803-379-X

Thierbach R., Electromagnetic reflections in salt deposits, *Journal of Geophysics*, Vol. 40, 1974, s. 633-637

Ulriksen C.P.F., Application of impulse radar to civil engineering, Unpublished Ph. D. Thesis, Dept. Of Engr. Geol., University of Technology, Lund, Sweden, 1982, s. 175

Unterberger R.R., Radar propagation in rock salt, *Geophysical Prospecting*, Vol. 26, No. 2, June 1978, (doi 10.1111/j.1365-2478.1978.tb01595.x), s. 312-328

Uponor, Salaojien ja sadevesijärjestelmien asentaminen

van der Kruk J., Three dimensional imaging of multi-component ground penetrating radar, Ph. D. Thesis, Delft University of Technology, 2001, s. 242

van Overmeren R.A., Radar facies of unconsolidated sediments in The Netherlands: a radar stratigraphy interpretation method for hydrogeology, *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 40, No. 1-3, October 1998, (doi: 10.1016/S0926-9851(97)00033-5)

Waite A.H., Schmidt S.J., Gross errors in height indication from pulsar radar altimeters operating over thick ice or snow, *IRE International Convention Record*, Part 5, s. 38-54

Ward S.H., Phillips R.J., Adams G.F., Brown Jr., W.E., Eggleton R.E., Jackson P., Jordan R., Linlor W.I., Peeples W.J., Porcello L.J., Ryu J., Schaber G., Sill W.R., Thompson S.H., Zelenka J.S., Apollo lunar sounder experiment, in *Apollo 17, Preliminary Science Report*, Scientific and Technical Office, NASA, Washington D.C., s. 22-1 – 22-26

Walford M.E.R., Radio echo sounding through an ice shelf, *Nature*, Vol 204, No 4956, October 1964, (doi 10.1038/204317a0)

Watts R.D., England A.W., Radio echo sounding of temperate glaciers, Ice properties and sounder design criteria, *Journal of Glaciology*, Vol. 17, No. 75, 1976, s. 39-48

Ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma, B3 Pohjarakenteet, Määräykset ja ohjeet 2004

Ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma, C2 Kosteus, Määräykset ja ohjeet 1998, (RT RakMK-21099)

Ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma, D1 Kiinteistön vesi- ja viemärlaitteistot, Määräykset ja ohjeet 2007, (RT RakMK-21351)

Ympäristöministeriö, Ympäristöopas 51, Kosteus rakentamisessa, RakMK C2 opas, Helsinki 1999, ISBN 951-682-530-3

Zeng X., McMechan G.A., Cai J., Chen H.W., Comparison of Ray and Fourier methods for modeling monostatic ground-penetrating radar profiles, Geophysics, Vol. 60, No. 6, November-December 1995, (doi 10.1190/1.1443905)

<http://www.3d-radar.com/military/3d-radar-principle-of-operation>, 22.4.2010

http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kunnossapito_ja_korjaaminen/kuivatusjarjestelmat/salaojat/, 26.4.2010

<http://www.eurogpr.org/aboutus.htm>, 10.5.2010

<http://www.geomodel.com/>, 15.5.2010